

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie



**ANALÝZA MECHANISMU VZNIKU POVODNÍ
V POVODÍ OPAVY PO PROFIL OPAVA
(Analysis of the flood-generation mechanism in the Opava river
basin down to the gauging station Opava)**

Diplomová práce

Jana Šmídová

Vedoucí práce: Ing. Josef Hladný, CSc.

Praha, srpen 2009

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a poskytnutých dat.

V Praze dne 25. 8. 2009

Jana Šmídová

PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji Ing. Josefu Hladnému, CSc. za odborné vedení diplomové práce a za jeho cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům ČHMÚ za poskytnutí klimatických a hydrologických dat.

OBSAH

ABSTRACT	6
1 ÚVOD	7
1.1 Cíle práce	8
1.2 Členění práce	8
2 STAV POZNATKŮ O POVODNÍCH VE SLEZSKU	10
2.1 Povodeň - základní pojmy	11
2.2 Příčiny vzniku povodní	12
2.3 Typy povodňového ohrožení v povodí Opavy	13
2.4 Synoptické příčiny vedoucí k vysokým srážkovým úhrnům	16
2.5 Historické povodně v povodí Opavy	20
3 FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA POVODÍ OPAVY	23
3.1 Základní charakteristika území	23
3.2 Geomorfologická charakteristika	24
3.3 Morfometrické charakteristiky	25
3.4 Geologické a hydrogeologické poměry	27
3.5 Půdy	29
3.6 Klimatické poměry	30
3.7 Hydrologické poměry	34
3.8 Krajinový pokryv	39
4 SOUBOR VSTUPNÍCH DAT	41
4.1 Kulminační průtoky a povodňové vlny	41
4.2 Srážková data	42
4.3 Výška sněhové pokrývky	43
4.4 Teplota vzduchu	43
4.5 Synoptické podmínky	44
5 MECHANISMUS VZNIKU POVODNÍ	45
5.1 Výskyt povodní v letech 1896-2007	45
5.2 Typy povodní na Opavě	48
5.3 Analýza sezonality výskytu povodní	50
5.3.1 Metodika popisu sezonality	50
5.3.2 Četnost výskytu povodní	52
5.3.3 Dlouhodobé změny četnosti výskytu povodní	55

5.3.4	Sezonální posun ve výskytu povodní	56
5.3.5	Výskyt maximálních průtoků v průběhu roku	57
5.3.6	Období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní	58
5.4	Synoptické příčiny vzniku povodní	59
5.4.1	Metodika vymezení příčinné povětrnostní situace	60
5.4.2	Frekvenční analýza výskytu povětrnostních typů	61
5.4.3	Genetický kód hydrosynoptického vývoje povodní	64
5.4.4	Časový předstih příčinných povětrnostních situací	67
5.4.5	Porovnání příčinných povětrnostních situací	68
5.4.6	Dráhy řídicích tlakových útvarů	70
5.5	Prostorové rozložení příčinných srážek	72
5.5.1	Srážkové jádro a jeho poloha v povodí	73
5.5.2	Vliv povětrnostních situací na tvorbu srážkového pole	75
6	KATEGORIZACE POVODNÍ	77
6.1	Použití metody statistické analýzy dat	77
6.1.1	Shluková analýza	77
6.1.2	Analýza podobnosti povodňových případů	78
6.2	Výběr parametrů povodňového režimu	78
6.2.1	Výběr na základě korelační analýzy	78
6.2.2	Výběr na základě shlukové analýzy	78
6.2.3	Klasifikace vybraných parametrů povodňového režimu	82
6.3	Shluková analýza povodňového zatížení krajiny	83
6.4	Analýza podobnosti povodní	85
6.5	Kategorizace povodňové odezvy	87
6.5.1	Kategorizace zimních povodní	87
6.5.2	Kategorizace letních povodní	94
7	DISKUSE	102
8	ZÁVĚR	105
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ	108
9.1	Literatura	108
9.2	Mapové a datové podklady	111
10	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH	112
10.1	Obrázky	112
10.2	Tabulky	114
10.3	Přílohy	115

ABSTRACT

Floods can be a natural disaster, which cause material and environmental damage and in the worst case even cost human lives. The main aim of many flood studies is to bring out some finding, that could be use for optimisation of flood-protection arrangements and to specify outputs of flood prediction model.

This thesis study the flood mechanism in the Opava river basin down to Opava profile. Part of the thesis is the load of landscape assessment during a season and the variation of flood frequency. More detailed is analysed the period 1960-2007. Particularly is paid attention to relation between the atmospheric conditions and origin of floods in connection with the time-space distribution of the causal precipitation. By synthesis of knowledge and using method of cluster analysis were set up a categorisation of flood according to common characteristics in the causation of flood origin and a shape of flood wave. There is also the Catalogue of flood, where are characterised the conditions of atmosphere and of landscape and hydrograms of flood wave in the Opava hydrological profile.

1 ÚVOD

Povodně představují mezi přírodními katastrofami, které se vyskytují na území České republiky, největší přímé nebezpečí. Každoročně tyto přírodní disturbance ve větším či menším územním rozsahu a extremitě postihují naše území, potenciálně ohrožují lidské životy, způsobují škody na majetku a životním prostředí. Přesto se v našich geografických podmínkách nejedná o výjimečný jev. Povodňové situace se vyskytovaly i v minulosti, jak o tom svědčí historické záznamy, značky povodňových vod (např. v podobě Bradáče v Praze) a rovněž i rozsah aluviálních půd, které jsou v řadě případech totožné s dnešními zaplavovanými oblastmi.

Co se však oproti minulosti změnilo je výše povodňových škod. V posledních desetiletích se zvláště hmotné ztráty působené povodněmi vyznačují v dlouhodobém průměru rostoucí tendencí, což se vysvětluje zejména zvyšováním cen zaplavovaného majetku, nárůstem podílu zastavěných ploch v údolní nivě a změnami ve využívání území, které negativně ovlivňují odtok z krajiny. V současné době se však také stále častěji objevují diskuse ohledně vlivu globální změny klimatu a o s ní souvisejících scénářích dopadů na hydrologický režim střední Evropy. K tomu používané modely signalizují možné zvyšování výskytu povodní a zvětšování jejich extremity. Z těchto důvodů je důležité chápat studium povodní a jejich dopadů jako komplexní problém, který představuje jednu z nejaktuálnějších výzkumných otázek.

Povodně byly a jsou neoddelitelnou, prostorově i časově nepravidelnou součástí oběhu vody a proto je s nimi nutné počítat i v budoucnu a snažit se z každé povodňové epizody poučit a získat nové zkušenosti, jak se před jejich ničivými účinky bránit a snižovat povodňové škody i v měnících se podmínkách přírodního prostředí.

Hlavním úkolem přírodních věd, které se zabývají tímto fenoménem, je přinést poznatky, které je možné využít jak k realizaci prevence, tak i ke snižování povodňových škod. Je zřejmé, že tato opatření v krajině nelze provádět bez znalosti příčin vzniku a vývoje povodní v daných fyzickogeografických podmínkách. Základem je proto analyzovat co nejvíce případů z minulosti, tak aby bylo možné podle jednotlivých komponent příčin charakterizovat nezonální povodňovou zatíženost krajiny, lokalizovat zdrojové oblasti častých rozvodnění a charakterizovat časové a prostorové rozložení srážek a symptomy jim předcházejících příčinných cirkulačních podmínek v atmosféře. Po objasnění mechanismu vzniku povodní lze pak protipovodňová opatření realizovat a zesílit v těch částech povodí,

kde se budou co nejúčinněji uplatňovat z hlediska zvyšování retence a zpomalování odtoku, a tím přispívat maximálně ke zmírnění následků povodní.

Protipovodňová ochrana však nemůže být nikdy absolutní a každý prostor v České republice je třeba chránit podle jeho důležitosti, rizika jeho ohrožení a tedy s různým investičním vkladem. K takovému rozhodování by měly napomáhat hluboce pojaté studie povodňového režimu v jednotlivých povodích, o což se snaží v současné době i Evropská unie nedávným vydáním *Rámcové směrnice EU o vyhodnocení a zvládnutí povodňových rizik* [2007].

Povodí Opavy bylo zasaženo ničivými povodněmi v roce 1997, které nejen v této oblasti vyvolaly nutnost rozvoje a budování integrovaného systému protipovodňových opatření řešených v celém rozsahu povodí namísto jejich lokální působnosti. Tuto naléhavost opět v povodí Opavy důrazně připomněly i povodně ze září 2007 a z června letošního roku.

Předpovědní systém a protipovodňová opatření mohou být efektivní pouze tehdy, pokud využívají účinně nejen technické prostředky, ale i znalosti přírodních procesů, jimiž se vývoj v povodňových situacích v povodí Opavy řídí. Proto byla jako hlavní cíl předkládané diplomové práce zvolena analýza mechanismu vzniku povodní na základě dosud pozorovaných povodňových případů v povodí Opavy po profil Opava.

1.1 Cíle práce

- Význam znalostí o výskytu povodní
- Vytvoření katalogu povodní v povodí Opavy po profil Opava
- Sezonální režim povodní a jeho změny
- Identifikace symptomů vzniku a průběhu povodní
- Kategorizace povodňových vln na základě sezonality, příčinných povětrnostních situací, rozložení srážkového pole v povodí, vývoje meteorologických prvků v předkulminační fázi a jednotlivých parametrů odtokové odezvy

1.2 Členění práce

Diplomová práce je rozdělena do osmi hlavních kapitol. První tři kapitoly obsahují úvodní informace se stanovenými záměry práce, rešerši povodňové problematiky a krátké zhodnocení dostupné literatury (kapitola 2). Na to navazuje popis fyzickogeografických poměrů, které nejvíce ovlivňují vznik a průběh povodní v povodí Opavy (kapitola 3).

Další část práce má za úkol informovat o použitých datech, jejich přípravě a výběru výsledného referenčního období (kapitola 4).

Třetí část práce zahrnuje vlastní řešení a výsledky, které jsou rozděleny do dvou kapitol (5 a 6). V první z nich (kapitola 5) byl analyzován a popsán mechanismus vzniku povodní na Opavě, z několika různých pohledů. Úvodem se shrnují výsledky studie vývoje výskytu povodní ve 20. století na Opavě v Opavě. Součástí je hodnocení sezónního zatížení krajiny a změny v povodňovém režimu i u dalších dvou profilů v povodí Opavy. Na to navazuje hydrosynoptická analýza příčinných povětrnostních situací, jejich výskyt a vývoj v předkulminační fázi. Jako vstupní soubor byly použity vlny z profilu Opava za období 1960 - 2007. Pozornost byla také věnována především vztahům mezi cirkulačními podmínkami v atmosféře a vyvolanými povodňovými vlnami v souvislosti s časovým a prostorovým rozložením příčinných srážek.

Kapitola 6 se zabývá kategorizací povodňových vln s využitím metod matematicko-statistické analýzy dat a získaných poznatků z kapitoly 5. Byly definovány jednotlivé letní a zimní povodní, podle společných znaků v příčinách vzniku a vývoji tvaru povodňových vln.

Poslední část práce je věnována diskusi a závěrům, jejichž cílem je identifikovat možné problémy při analýze povodní a shrnout všechny dosažené výsledky (kapitola 7,8).

Další využitelnou součástí diplomové práce je přílohová část, kde je kromě jiného k dispozici i zpracovaný *Katalog povodní na Opavě v Opavě v letech 1960 - 2007*. Obsahuje grafy a mapové výstupy, které znázorňují příčinné podmínky v atmosféře i v povodí a dále průběh povodňových vln zobrazených pomocí hydrogramů v profilu Opava na Opavě.

2 STAV POZNATKŮ O POVODNÍCH VE SLEZSKU

Problematicke povodní je v posledních letech věnována v České republice stále větší pozornost [např. *Brázdil et al., 2005; Brázdil, Kirchner et al., 2007*]. V knihách, monografiích i v příspěvcích se provádějí podrobné popisy a uvádějí se výsledky zpracování vybraných povodňových událostí. V souvislosti s katastrofálními povodněmi, které postihly rozsáhlou část českého území v červenci 1997 zejména na Moravě a ve Slezsku a v srpnu 2002 v povodní Labe v Čechách, vznikla i řada interdisciplinárních studií hodnotících povodňové situace v širším kontextu s ochranou životního prostředí. Také na Katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze se řešily v rámci projektů Vědy a výzkumu práce zabývající se významnými vztahy mezi povodněmi a fyzickogeografickým prostředím krajiny [*Langhammer et al., 2008*]. Otázkou vzniku a vývoje povodňových situací v rámci jednotlivých povodí se ve svých magisterských a disertačních pracích zabývali např. *Chalušová [2004], Štěpánková [2004], Jurgvirtová [2005], Čekal [2005], Müller [2007]* či *Vlasák [2008]*.

Využití odborných pramenů tohoto druhu má však svá omezení, vzhledem k tomu, že každé povodí je svým způsobem specifické jak hlediska fyzickogeografických podmínek tak i s ohledem na variabilitu atmosférických cirkulačních procesů, které vedou k vzniku povodní. Proto je možné přebírat pouze obecně platné zákonitosti, které mají vztah k řešené problematice.

Práce, které se věnují analýze povodní ve Slezsku v povodí Odry, obsahují zpravidla informace o povodňových událostech pozorovaných také v povodí Opavy. I z velkého počtu dalších prací, které se již dotýkají přímo povodí Opavy a související s tématem diplomové práce, lze jmenovat řadu studií, ze kterých se dají odvodit nepřímé představy o mechanismu vzniku povodní v tomto povodí.

Ucelený přehled známých historických povodní v povodí Opavy je publikovaný v práci *Brázdil, Kirchner et al. [2007]*. Katastrofální povodně z let 1902 a 1903 popsali *Munzar, Ondráček [2005]*. Opakováním velkých vod v povodí Odry se zabývali *Kříž et al. [1964]*. Jednotlivé analýzy povodňových situací vypracovali pro povodeň z července 1960 *Kříž, Sochore [1963]*, vyhodnocením povodně v srpnu 1972 se zabývali *Doležal et al. [1976]* a povodňovou situaci ze srpna 1985 popsali *Hošek et al. [1988]*. *Řehánek [2005]* a *Munzar, Ondráček [2005]* uvádějí největší povodně známé z období přístrojového pozorování v povodí Odry. Analýzou meteorologických příčin vzniku povodní v povodí Odry zabývali např. *Brádka [1967]* a *Koblihová [1989]*. Vznik povodní z hlediska trajektorií příčinných

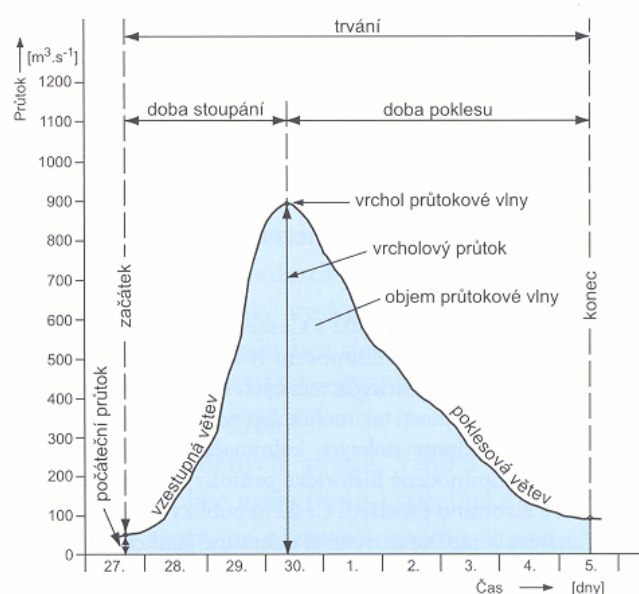
cyklon a brázd v této oblasti posuzoval *Kakos [1974]*. Vybrané povodňové události v povodí Opavy popsali *Brázdil et al. [2005]*, *Brosch [2005]* *Brázdil, Kirchner et al. [2007]*. V rámci projektu *Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997 [Hladný et al., 1998]* byla povodňová situace zpracována poprvé interdisciplinárně i v povodí Opavy řadou odborníků z různých organizací a institucí.

2.1 Povodeň - základní pojmy

Pojem „povodeň“ se dá definovat mnoha způsoby. I dnes je obtížné jednoznačně vymezit univerzální definici pro pojem povodeň. Každá povodňová situace se projevuje jako specifikum v určitém prostoru a čase. Proto je důležité povodeň hodnotit z hlediska více kritérií. Za nejdůležitější lze považovat hodnoty základních parametrů povodňové vlny, příčiny vzniku povodně, typ povodně, vliv fyzickogeografických poměrů povodí na vznik a průběh povodně a způsobené škody.

V České republice se v povodňové ochraně ustálila definice povodně podle Vodního zákona č. 245/2001 Sb. Povodněmi se podle tohoto dokumentu rozumí „přechodné významné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém již voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod“.

Průběh povodně je charakterizován průtokovou vlnou, která podle ČSN [1975] představuje „přechodné zvětšení a následující pokles průtoků a vodních stavů, vyvolaný deští, táním sněhu nebo umělým zásahem v určitém profilu toku a v daném okamžiku“, [Brázdil et al., 2005].



Obr. 2.1 Prvky průtokové vlny dle ČSN 1975, 1983.

Zdroj: Brázdil, et al. [2005].

Průtoková vlna je charakterizována kulminačním průtokem, objemem, tvarem vlny a délkou trvání (doba stoupání a doba poklesu). Průtoková vlna, která překročila z různých příčin průtočnou kapacitu koryta toku a dochází při tom k vylévání vody do okolního reliéfu a k záplavám, je označována jako povodňová vlna. Jednotlivé části povodňové vlny jsou znázorněny na hydrogramu (Obr. 2.1).

2.2 Příčiny vzniku povodní

Hlavní příčinou vzniku povodní na tocích v povodí Opavy jsou intenzivní dešťové srážky trvalého charakteru anebo přívalové srážky z konvekční oblačnosti. Povodně vyvolané prudkým táním sněhové pokrývky se v této oblasti vyskytují jen ojediněle, spíše se jedná o rozvodnění toku v jarním období, kdy z horských oblastí odtéká voda ze sněhové pokrývky. Ve většině případů je tato povodeň doprovázena dešťovými srážkami.

Obecně je výskyt srážek vázán na existenci výstupných pohybů vzduchu, které vedou k jeho ochlazení [Kakos, 2001]. K vertikálním pohybům dochází výlučnými pohyby vzduchu v oblasti atmosférických front, termickou konvekcí vedoucí ke vzniku konvekčních srážek, výstupnými pohyby vzduchu v oblasti cyklón a brázd nízkého tlaku a v důsledku vynuceného výstupu vzduchu vlivem orografie. V atmosféře nepůsobí jednotlivé typy výstupných pohybů zpravidla izolovaně, ale na vzniku povodňových srážek se obvykle podílí kombinace několika z nich, působení všech nevyjímaje, např. povodeň v červnu 1997.

Přesto vysoké úhrny srážek nejsou jedinou podmínkou mající vliv na vznik a následný průběh povodně. Ke vzniku povodní dochází působením celé řady stálých, příčinných a předběžných faktorů, které lze dále rozdělit na meteorologické, fyzickogeografické a antropogenní. Toto dělení se liší podle pojetí jednotlivých autorů, např.: Čermák [1968], Chorey et. al [1969], Brázdil et al. [2005] a Müller [2007].

Stále působící fyzickogeografické faktory

Jedná se o stálé fyzickogeografické faktory, které se nemění v krátkém časovém intervalu. Jsou to např. klimatické podmínky, hydrologické charakteristiky (tvar a velikost povodí, tvar údolí, uspořádání říční sítě...), geomorfologické vlastnosti reliéfu (nadmořská výška, orografie, sklonitost a orientace svahů, spád toku...), vlastnosti geologického podloží, půdního pokryvu, vegetace atd. Vliv těchto faktorů na vznik a průběh povodně podrobněji popisuje Šmídová [2006].

Předběžné meteorologické faktory

Tyto faktory působí několik dnů před vznikem povodně, jedná se tedy o aktuální situaci v povodí před vypadáváním příčinné srážky. Do této skupiny patří nasycenost povodí a s ní související míra naplnění říční sítě, případně i rozsah již existujících rozlivů, v zimním hydrologickém půlroce jde především o promrznutí půdy, vodní hodnotu a množství sněhové pokrývky.

Příčinné meteorologické faktory

Příčinné meteorologické faktory mají vliv na vznik povodně několik hodin až dnů před vznikem povodně. Do této skupiny patří především vlastnosti příčinných srážek (množství, intenzita, prostorové rozložení v rámci povodí a průběh srážek v předkulminační fázi povodňové epizody) a teplota vzduchu, s ní související relativní vlhkost a rychlost větru, které ovlivňují výpar, a v zimním období je hlavním faktorem ovlivňující tání sněhové pokrývky.

Antropogenní faktory

Mnohé z přirozených fyzickogeografických podmínek v povodí jsou pozměněny lidskou činností. Za antropogenní faktory lze tedy považovat, jak technická řešení protipovodňových opatření, která by měla zmenšovat následky povodňových škod (úpravy vodních toků - zvýšení průtočné kapacity koryt vodních toků, ochranné hráze, odlehčovací a odtokové kanály, vodní nádrže, vhodná využití příbřežní zóny a údolní nivy), tak sem také patří celá řada jiných dlouhodobých zásahů do vodního toku a okolní krajiny v povodí jako je krácení říční sítě, plošné odvodnění krajiny, změny ve využití území, rozmístění sídel atd. [Langhammer, 2004], které se často negativně projevují při vývoji povodně.

2.3 Typy povodňového ohrožení v povodí Opavy

Podle příčin vzniku je možné povodně rozdělit na dešťové, smíšené a sněhové [ČSN, 1983]. Dalším kritériem pro rozdělení povodní je jejich výskyt v průběhu roku.

Z hlediska sezonality jsou smíšené a sněhové povodně označovány jako zimní (jarní), které jsou vázány na období od prosince do první polovina dubna. Přesto i v tomto období mohou být povodňové situace vyvolány výhradně dešťovými srážkami, jejich výskyt je všech charakteristický pro letní půlrok (květen - říjen). Zimní a letní povodně se vzájemně liší i z hlediska synoptických podmínek, které těmto povodním předcházejí. Proto je důležité k jejich hodnocení přistupovat odlišně.

Dešťové povodně se dále dělí podle charakteru příčinné srážky na povodně z krátkodobých přívalových srážek a ze srážek trvalého charakteru [Brázdil *et al.*, 2005]. Při některých povodňových situacích dochází ke společnému výskytu obou typů dešťových srážek (působením vnořených konvekčních bouří do vrstevnaté oblačnosti), či jeden typ může přecházet v druhý a naopak.

Kromě uvedených příčin vzniku se mohou vyskytovat i specifické povodně bez přímé vazby na meteorologickou situaci [Matějček, Hladný, 1999].

Letní povodně z krátkodobých přívalových srážek z konvekční oblačnosti

Dešťové povodně z krátkodobých přívalových srážek jsou často označovány jako „bleskové povodně“ (z anglického výrazu „*flash floods*“). Důvodem je krátká doba trvání mezi spadem objemu příčinné srážky a vrcholem povrchového odtoku ze zasažené plochy povodí (doba koncentrace). Tomu odpovídá i rychlá transformace povodňové vlny ve směru toku, která se vyznačuje rychlými vzestupy vodních stavů. Přívalové srážky spojené s vývojem konvekčních bouří obvykle dosahují vysoké intenzity s poměrně krátkou dobou trvání a často zasahují pouze jedno nebo několik dílčích povodí Opavy. V některých výjimečných případech mohou mít tyto povodně větší územní rozsah. Příkladem může být povodeň z května 1996, která byla třetí největší povodní v povodí Opavy od počátku 20. století. Extremitu povodní z přívalových srážek ovlivňují vysoké úhrny srážek a jejich doba trvání - pohyb konvekčních bouří. Pro vznik povodní jsou nebezpečné případy, když konvekční bouře mají stacionární charakter a dochází k opakovanému vývoji bouřkových cel na zadní straně bouře nebo když se bouřkové cely pohybují opakovaně přes přibližně stejné území („*train effect*“) a srážky zasahují opakovaně stejnou oblast.

Letní povodně ze srážek trvalého charakteru

Tento typ povodní je způsoben trvalými srážkami z vrstevnaté oblačnosti, které vznikají při vývoji oblaků druhu *Nimbostratus* [Řezáčová, *et al.*, 2007]. Srážková činnost druhu *Nimbostratus* obvykle postihuje území o velkých rozlohách (tisíců až stovky tisíců km²), projevuje se menší intenzitou a je rovnoměrně rozložena po celou dobu svého trvání. Pro vývoj vrstevnatých srážek má podstatný vliv teplá atmosférická fronta, na které dochází k pomalému, ale trvalému výkluznému pohybu teplého vzduchu a k rotaci okolo středu cyklony v protisměru chodu hodinových ručiček. Příkladem velkoprostorové povodně, jejíž příčinné srážky byly vyvolány vývojem mohutnou vrstevnatou oblačností

druhu *Nimbostratus*, byla povodeň z července 1997, která také zasáhla povodí Opavy [Hladný et al., 1998].

Průměrná délka doby trvání dešťových srážek se pohybuje mezi jedním až třemi dny, přesto při specifickém uspořádání, kdy dochází k souhře několika příčinných faktorů, mohou srážky trvat i delší dobu, např. povodeň v červenci 1997, kdy srážky vypadávaly po dobu až pěti dní [Hladný et al., 1998].

Při velkoprostorových povodních je povodeň na hlavním toku zpravidla doprovázena povodněmi i na přítocích a tocích v sousedních povodích, což vede k interferenci povodňových vln a tím často i ke zvyšování nebezpečnosti povodně.

Zimní sněhové povodně

Povodně vyvolané jen táním sněhové pokrývky se v povodí Opavy vyskytují jen ojediněle. V jarním období se jedná především o přirozené odtávání sněhu, což spíše vyvolá drobné rozvodnění toku.

Při vzniku sněhových povodní je rozhodující teplota vzduchu, která musí dosáhnout kladných hodnot v jarním období. Tání sněhu obvykle probíhá postupně v jednotlivých výškových zónách povodí a způsobuje, že nedochází k vytvoření jedné povodňové vlny a průtoky nedosahují větších hodnot. Povodňové vlny se vyznačují plochým vrcholem, častěji však i s patrnými několika vrcholy, velkým objemem a dlouhou dobou trvání.

Tyto povodně mohou být také doprovázeny odchodem ledových jevů jako tzv. ledové povodně.

Zimní smíšené povodně

Zimní smíšené povodně jsou zapříčiněny kombinací tání sněhu a vypadáváním dešťových srážek. Tento typ povodní se v povodí Opavy objevuje častěji než povodně vyvolané samotným táním sněhové pokrývky, přesto hodnoty největších kulminačních průtoků dosahují jen dvouletých vod. Největší povodní tohoto druhu za období 1960-2007 je povodeň z konce března 2005.

Povodně ze specifických příčin

Povodně mohou vyvolat i jiné příčiny - náhlé přehrazení toku sesuvem půdy, ucpání mostních otvorů, propustků či koryta splávím. Patří sem také záplavy vyvolané zpětným vzduťím vodní hladiny na přítocích, způsobené vyšší hladinou na hlavním toku. Kromě povodní, které jsou způsobeny přírodními vlivy, může povodňovou situaci vyvolat i porucha

některého ze zařízení vodního díla. To může vést k omezení ochranné retenční funkce vodní nádrže nebo dokonce k vypouštění vody z nádrže, což má následně vliv na zhoršení odtokové situace pod nádrží.

2.4 Synoptické příčiny vedoucí k vysokým srážkovým úhrnům

Studium vazeb mezi vznikem povodně (odpovídající odtokovou odezvou v daném povodí) a cirkulačními procesy atmosféry, které vedou k vypadávání extrémních úhrnů srážek, je označováno jako hydrosynoptická analýza (tzv. hydrosynoptické povodňové kontinuum [Čekal, 2005]).

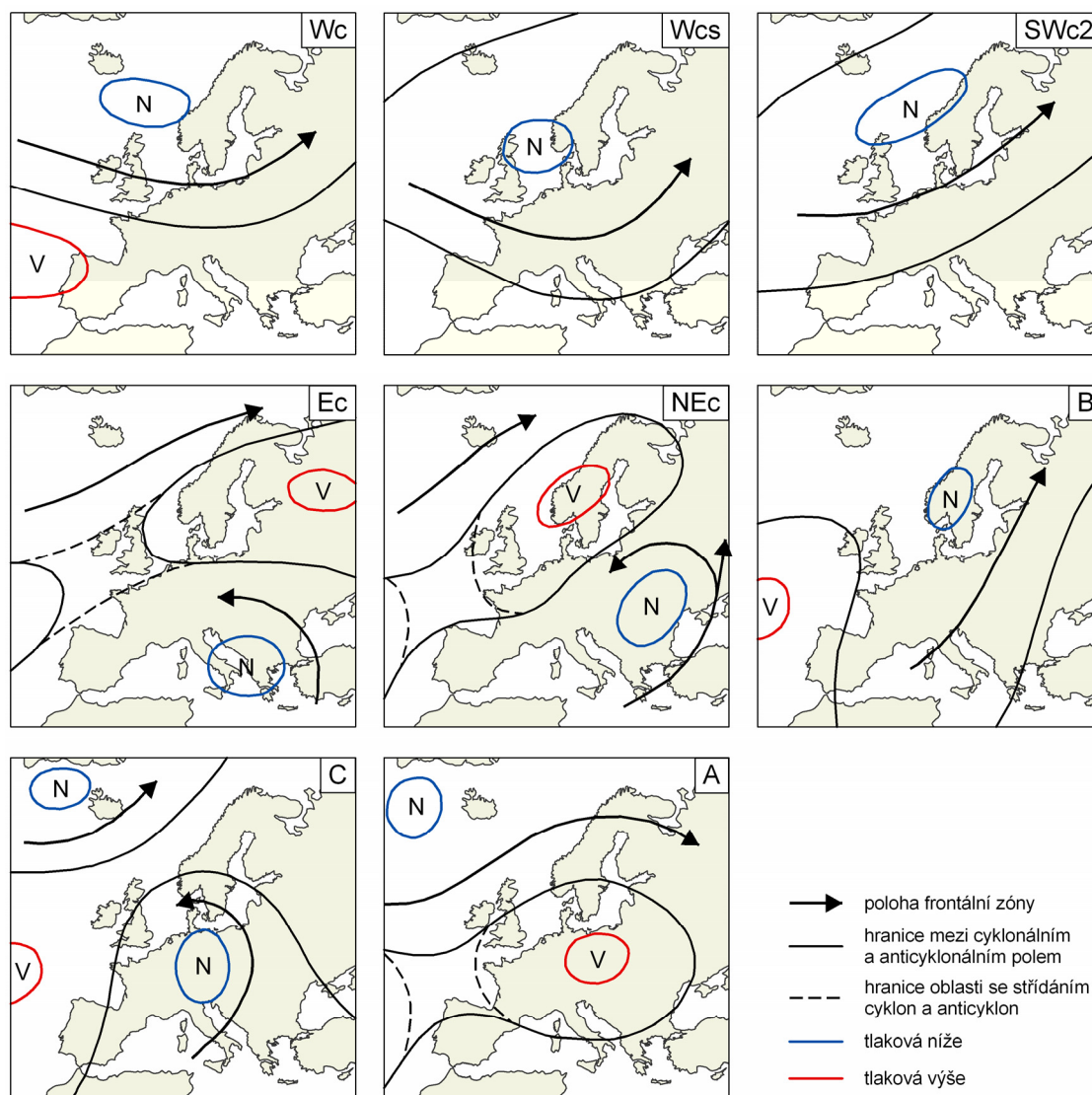
Pro pochopení mechanismu vzniku povodní je klíčová hydrosynoptická analýza v předkulminační fázi. Synoptická situace by měla být charakterizována pomocí vhodných ukazatelů z hlediska různých vlastností atmosféry, které umožní vzájemné porovnání jednotlivých situací. Příčinné situaci, která zapříčinila vznik povodní, předchází obvykle řada příznaků (symptomů). Při hydrosynoptické analýze se vychází z podrobného rozboru cirkulačních, srážkových a odtokových podmínek historických povodní v době několika dnů před výskytem kulminačních průtoků. Dosažené výsledky pak mohou přispívat ke zdokonalování modelů a k preventivním protipovodňovým opatřením v jednotlivých oblastech.

K vyšetření vztahů mezi příčinnými cirkulačními podmínkami a výskytem extrémních srážek, které mohou vést ke vzniku povodní je možné do určité míry použít následujících metodických kroků, které uvádí Müller [2007]:

- subjektivní typizace povětrnostní situace;
- objektivní typizace, založené na vlastnostech tlakového pole;
- metoda trajektorií cyklon, případně doplněná o jejich vlastnosti (směr a rychlost pohybu, zahloubenost středu...);
- údaje o přechodech atmosférických front;
- ukazatele vyjadřující vertikální termodynamické podmínky v atmosféře (např. energie instability - CAPE, Richardsonovo číslo, indexy instability atd).

Problémem při hodnocení povodňových situací je fakt, že dané cirkulační podmínky v atmosféře se vyskytují mnohem častěji než je počet dnů s výskytem povodní [Brádka, 1967; Hladný, 1995]. Proto pro předpověď vzniku povodňových situací nelze použít jen jednoduchou statistickou závislost, i když povodně vznikají většinou za určitých synoptických podmínek.

S ohledem na to, že jednotlivá povodí jsou více či méně různě citlivá na výskyt různých synoptických příčin, což vede k tomu, že shodná synoptická situace může v různých oblastech na základě odlišných fyzickogeografických podmínek vyvolat jinou srážkovou činnost, jsou v další části této práce uvedené obecné závěry o výskytu silných srážek vztaženy výlučně k povodí Opavy (případně k povodí Odry či oblasti Severní Moravy a Slezska).



Obr. 2.2 Schéma vybraných synoptických situací podle typizace HMÚ.

Zdroj: Brádka et al. [1961].

Subjektivní typizace povětrnostní situace

Z hlediska subjektivních typizací povětrnostních situací [např. Brádka et. al, 1961; Brázdil, Štekl, 1986] jsou pro vznik silných srážek trvalého charakteru potenciálně

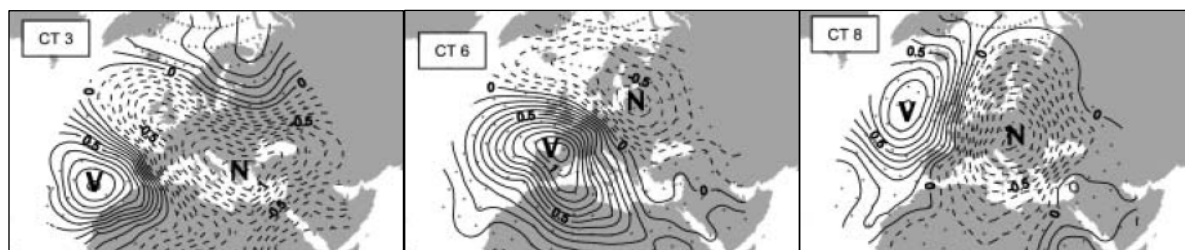
nebezpečné především situace centrální cyklony či brázdy a východní či severovýchodní cyklony [Brádka, 1967, 1972; Koblihová, 1989; Křivancová, Vavruška 1997; Šamaj, 1983]. Nejvíce se tyto typy C, B, NEc a Ec (Obr. 2.2) uplatňují při vzniku letních povodní ve Slezsku [Brádka, 1967; Koblihová, 1989]. Povodeň v červenci 1997 tento poznatek jen potvrdila.

Při situacích typu NEc a Ec se výrazně projevuje orografické zesílení srážek na severovýchodně až východně orientovaných návětrných stranách hor [Křivancová, Vavruška 1997], což přispívá k vyšším úhrnům srážek. S těmito povětrnostními situacemi jsou spojeny i záporné odchylky teplot vzduchu od normálu [Kakos, 1983]. Proto se v zimním období při těchto povětrnostních situacích povodně nevyskytují, neboť záporné teplotní odchylky v tuto roční dobu způsobují, že srážky vypadávají v podobě sněhových vloček.

Naopak v zimním období převládá na území České republiky jihozápadní až západní proudění teplého vzduchu od Atlantiku. Podle klasické typizace HMÚ [Brádka et al., 1961] k vypadávání srážek dochází především při situacích typu Wc, Wcs a NWc (Obr. 2.2) při nichž se také výrazně uplatňují orografické vlivy [Křivancová, Vavruška, 1997]. Při těchto synoptických podmínkách leží povodí Opavy v závětrří Hrubého Jeseníku a oblevy probíhají především při slabých dešťových srážkách, což je jedním z hlavních důvodů malého počtu zimních povodní v povodí Opavy [Brázdil et. al, 2005].

Objektivní typizace

Pro území České republiky byla první objektivní klasifikace cirkulačních typů založená na vlastnostech přízemního tlakového pole vytvořena Stehlikem [2002]. Cirkulační typy jsou zde definovány tak, aby vystihovaly co největší část proměnlivosti srážek. Největší pravděpodobnost výskytu velkých srážek je u typů označovaných jako CT8, CT6 a CT3, jejichž rozložení v měřítku evropského kontinentu je zachyceno na Obr. 2.3.

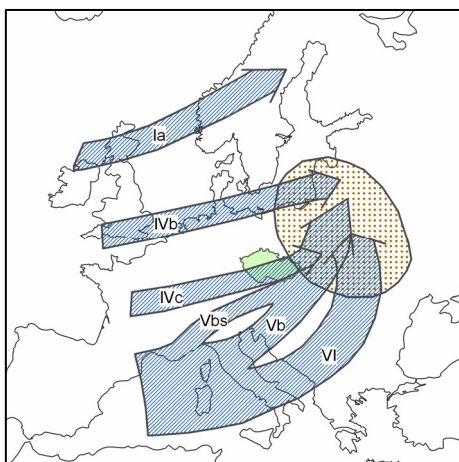


Obr. 2.3 Průměrné normalizované anomálie přízemního tlaku vzduchu pro tři cirkulační typy. Zdroj: Stehlik [2002].

Trajektorie cyklon

Trajektorie cyklon a brázd jsou podstatné z hlediska vzniku povodní v oblasti střední Evropy. Ve vývoji extrémních srážkových úhrnů hraje důležitou roli původ teplé vzduchové hmoty (ze Středomoří či z Atlantiku), charakter reliéfu, který má vliv na směr postupu cyklon a intenzita vpádu studeného vzduchu (přes Francii nad Severní moře nebo pouze na území severně od Alp) [Štekl, Brázdil, et al., 2001]. Dráhy cyklon zhruba určují, která oblast bude zasažena extrémními srážkami, vyskytujícími se v týlové (studené) části cyklony [Hansliana et al., 2000].

Na vznik silných srážek trvalého charakteru na našem území mají vliv jen některé dráhy cyklon. Nejvíce se uplatňují středomořské cyklony postupující po dráze Vb dle klasifikace van Bebbera, jejichž vliv se projevuje především na severní Moravě a ve Slezsku [Brázdil et al., 2005]. Na povodňové nebezpečí při těchto situacích upozornil např. *Kakos* [1983]. Cyklony spojené s vysokými úhrny srážek jsou zpravidla teplotně asymetrické, často s ostře vyjádřeným frontálním rozhraním, které je v mnoha případech málo pohyblivé až retrogradní, což vede k tomu, že srážky mají trvalejší charakter. Dále se zde výrazně uplatňuje vertikální stříh větru, kdy ve vyšších hladinách dochází k advekci teplého a vlhkého vzduchu z jižních směrů a v nižších hladinách převládá výrazné studené proudění vzduchu.



Obr. 2.4 Trajektorie cyklon (šrafovaně) a oblast kvazistacionárních cyklon (tečkovaně) .

Zdroj: Štekl, Brázdil, et al. [2001].

Další dráhy pohybu cyklon přes evropský prostor rozlišují Štekl, Brázdil, et al. [2001], jejichž trajektorie jsou ilustrovány na Obr. 2.4. Autoři kromě klasické dráhy středomořských cyklon Vb rozeznávají i dráhu Vbs vedoucí severně od Alp, která se postupně ztotožňuje s drahou Vb, a naopak východněji položenou dráhu VI.

Atmosférické fronty

Pro vznik silných srážek jsou nepříznivější podmínky v blízkosti výrazných zvlněných studených front (vlivem orografie), na kterých dochází k opakovanému přechodu frontálních vln přes určité místo, s případným vznikem výškového jihozápadního proudění. V těchto případech se jedná o přívalové srážky, které jsou typické pro letní období.

Dalším typem atmosférického rozhraní, který vede k vypadávání srážek je v oblasti teplých front. Srážková činnost je spojeny s výškovými frontálními zónami, které přecházejí naše území od jihozápadu, západu a severozápadu [Brázdil, Štekl, 1986]. Srážky jsou typické pro zimní období, kdy se výrazněji projevuje vliv orografie.

Ukazatele vyjadřující vertikální podmínky v atmosféře

Charakteristiky vertikálních termodynamických podmínek v atmosféře se využívají především při studiu případů přívalových srážek z konvekční oblačnosti. Ačkoliv vazba mezi hodnotami těchto ukazatelů a intenzitou konvekčních událostí existuje, nelze ji interpretovat jednoznačně, neboť průběh události je podmíněn celou řadou sub-synoptických aspektů [Müller, 2007].

2.5 Historické povodně v povodí Opavy

Popis historických povodní z období před začátkem systematického hydrologického měření je značně obtížný. Záznamy o povodních jsou přebírány z dochovaných kronik, letopisů a jiných dokumentárních pramenů. Přitom je však třeba brát v úvahu jistá omezení ve využívání těchto údajů. Velkou překážkou jsou zejména jejich prostorová i časová nehomogenita, morfometrické změny koryta a subjektivní pojetí popisu událostí s převažující orientací na extrémy, které měly významné dopady na společnost v podobě materiálních škod nebo ztrát lidských životů [Brázdil et al., 2005]. Přesto jejich přínos spočívá hlavně v tom, že jsou tyto údaje důležitými informacemi pro doplnění či potvrzení představ o povodňovém režimu v dané lokalitě.

Tab. 2.1 Přehled dosažitelných údajů historických povodních v povodí Opavy (15.-19. století), (L - letní, Z - zimní, N - nejasný) .

Rok	Datum kulminace	Typ	Lokalita	Příčina
1405	bez data	Z	Opava	tání sněhu
1501	20. srpna	L	Opava, Krnov	silné deště
1593	4. červenec	L	Krnov	jednodenní déšť
1595	březen	Z	Opava	
1599	bez data	N	Opava	
1652	bez data	L	Opava, Krnov	vytrvalé deště a průtrže mračen

Pokračování Tab. 2.1

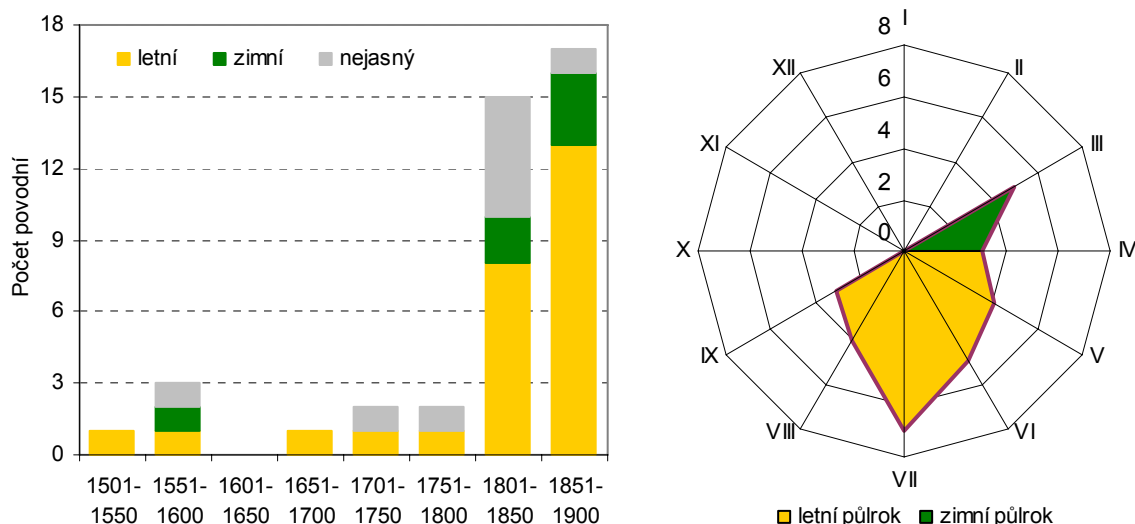
Rok	Datum kulminace	Typ	Lokalita	Příčina
1714	bez data	N	?	
1736	léto	L	Opava	deště
1784	20. duben	N	Slezsko	
1789	18. červenec	L	Opava	průtrž mračen
1802	březen	N	Opava	
1809	28. červenec	N	Opava	
1813	26. - 27. srpen	L	Opava	pětidenní deště
1813	11. - 12. září	L	Opava	
1813	18. září	L	Opava	
1816	4. březen	Z	Opava	
1826	bez data	N	?	
1829	10. - 11. červen	L	Opava	
1829	léto	L	Krnov	čtyřdenní déšť
1831	12. - 15. září	L	Opava	
1831	bez data	N	?	
1833	bez data	N	?	
1838	7. - 8. březen	Z	Opava	
1844	24. květen	L	Opava	
1847	14. červen	L	Opava	
1852	10. červenec	L	Opava	
1854	20. - 21. srpen	L	Opava	
1860	před 11. dubnem	Z	Opava	tání sněhu, déšť
1860	12. - 13. červenec	L	Opava	
1875	6. duben	Z	Opava	třídenní tání
1879	6. - 7. červen	L	Opava	průtrž mračen
1879	13. - 14. červen	L	Slezsko	vytrvalé deště
1880	kolem 12. května	L	obce podél Opavy	neustálý déšť
1880	začátek srpna	L	Opava	
1881	před 9. červnem	L	údolí Opavy	silné deště
1883	21. červen	L	Opava, Krnov	
1890	bez data	N	Opava	
1891	21. - 22. červenec	L	Opava, Krnov	vydatný déšť
1895	30. března	Z	Opava	
1896	kolem 8. května	L	Opava	
1897	30. července	L	řeka Opava	
1899	před 13. květnem	L	řeka Opava	dlouhotrvající déšť

Zdroj dat: Brázdil, Kirchner et al. [2007].

Nejstarší zmiňovanou povodní v povodí Opavy je povodeň z tání sněhu z roku 1405 [Strupczewski, 1965 sec. Brázdil, Kirchner et. al., 2007]. Následující přehled historických povodní v povodí Opavy po Opavu (Tab. 2.1) byl převzatý z publikace Brázdil, Kirchner et al. [2007].

Přes značnou neúplnost seznamu (např. pro 17. století je zde zmíněna pouze jedna povodeň), bylo vytvořeno jednoduché hodnocení povodní od počátku 16. století. Toto hodnocení je spíše orientační a nelze mu přikládat velkou váhu a to především díky malému počtu povodní zjištěných z dostupných pramenů. Přesto jsou pozorované jisté zákonitosti, které se zřetelně projevují i ve 20. století.

Z uvedené Tab. 2.1 byly vyhodnoceny povodně pomocí metody polárních grafů a četnosti výskytu povodní v padesátiletých intervalech. I když seznam povodní nemůže být považován za kompletní, určitým způsobem dává představu o sezónním výskytu povodní v povodí Opavy. Jak dokládá graf Obr. 2.5, tak i v minulých stoletích převládaly povodně v letním půlroce a patřily k obávaným přírodním katastrofám, které působily značné škody. V zimním období se s vyšší četností vyskytovaly povodně pouze v měsíci březnu. Tento fakt je patrný i u povodní v povodí Opavy ve 20. století [Šmídová, 2006]. I když tyto informace jsou pouze orientační, naznačují do jisté míry stabilizaci dlouhodobého sezónního režimu ve výskytu povodní v této lokalitě.



Obr. 2.5 Četnosti výskytu povodní na řece Opavě v Opavě v 16.-19. století zjištěné z dokumentárních pramenů.

Zdroj dat.: Brázdil, Kirchner et al. [2007].

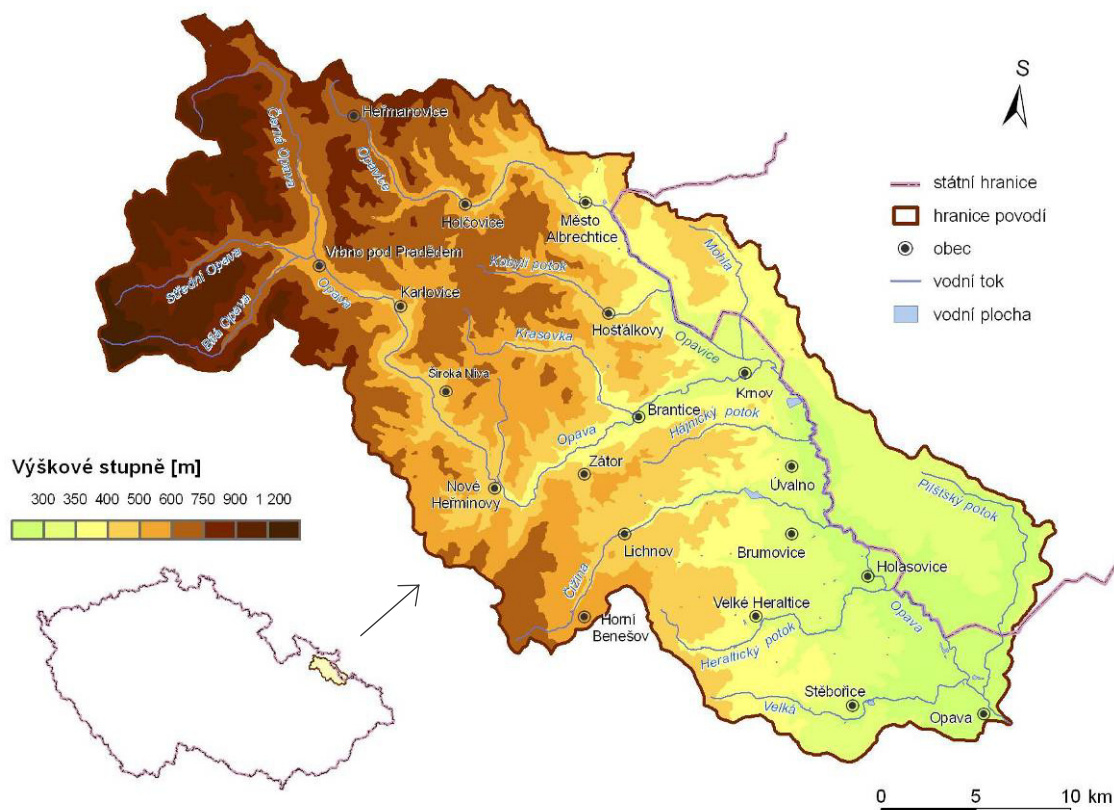
3 FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA POVODÍ OPAVY

Tato část práce je zaměřena na charakteristiku fyzickogeografických podmínek povodí Opavy po profil Opava (dále jen povodí Opavy) s důrazem na ty vlastnosti, které mají vliv na vývoj povodní.

3.1 Základní charakteristika území

Povodí Opavy se nachází v severovýchodní části České republiky a na severu asi 14 % jeho plochy zasahuje do území Polska. Celková plocha povodí je 929,69 km². Česká část povodí zaujímá území o přibližné rozloze 800 km². Délka řeky Opavy od pramene po limnigrafickou stanici Opava je 88,3 km.

Opava pramení zhruba ve výšce 1100 m n. m. východně od horského pásma Orlik v Hrubém Jeseníku. Povodí má protáhlý tvar ve směru SZ – JV, přibližně od Rejvízu až k městu Opava (Obr. 3.1). Nejvyšší nadmořské výšky dosahuje Praděd (1491,3 m n. m.) a nejnižší bod povodí leží v závěrovém profilu ve městě Opava (240 m n. m.).



Obr. 3.1 Modelové území povodí Opavy po profil Opava.

Zdroj dat: ZABAGED, ČR 50, DMÚ- 25.

Poloha a výškové poměry povodí Opavy jsou důležité z hlediska mechanismu vzniku povodní a to především v důsledku pohybu vzduchových hmot nad naším územím a jejich interakcí s orografií povodí (více kapitola 5). Významná je také orientace povodí, která má vliv na velikost kulminačního odtoku zejména v souvislosti se směrem postupu srážkové zóny po proudu toku či proti jeho směru.

3.2 Geomorfologická charakteristika

Území povodí Opavy spadá do dvou geomorfologických provincií [Demek, 1965]. Převážná část povodí patří k provincii Česká vysočina a na východě jen malou plochou zasahuje do provincie Středopolská nížina. Českou vysočinu zastupují jednotky Krkonošsko-jesenické soustavy a její Jesenické podsoustavy, celky Nízký Jeseník, Hrubý Jeseník a Zlatohorská vrchovina. Z provincie Středopolská nížina zasahuje do povodí Opavy podsoustava Slezská nížina, z ní celek Opavská pahorkatina (Obr. 3.2).



Obr. 3.2 Geomorfologické členění povodí Opavy (*data se vztahují pouze k území ČR).

Zdroj dat: CENIA - Geomorfologické členění ČR..

Nejvyšším celkem zasahující do povodí Opavy je Hrubý Jeseník, který ohraničuje severozápadní část povodí. Hrubý Jeseník je členitá, tektonicky vyzdvižená hornatina

[Demek, 2008], která výrazně převyšuje okolní terén a zvedá se směrem ke svému středu, kde leží i nejvyšší vrchol Praděd (1491,3 m n. m.). Je tvořen samostatnými horskými celky oddělenými hlubokými sedly a kotlinovými sníženinami [Demek, 1965]. Vodní toky mají velký spád a jejich údolí jsou hluboká (až 300 m) s příkrými svahy se značným sklonem.

Nízký Jeseník je plochá vrchovina, která klesá směrem od západu k východu. Plošiny, které tvoří zarovnaný povrch, jsou oddělené údolními, sedly a kotlinami. Vodní toky se zařezávají do plošiny a vytváří hluboká, většinou asymetrická říční údolí [Culek, 1996]. Příkré svahy odhalují často skalní podloží, takže se při jejich úpatí tvoří haldy a suťové kužele [Demek, 2008].

Zlatohorská vrchovina se nachází při východním úpatí Hrubého Jeseníku. Byla vyzdvižena a rozčleněna na kry. Jedním z důsledků kerných posunů jsou hluboká údolí vodních toků. Reliéf v severovýchodní části Zlatohorské vrchoviny je výrazně ovlivněn činností pevninských ledovců a jsou zde patrné periglaciální tvary [Demek, 2008].

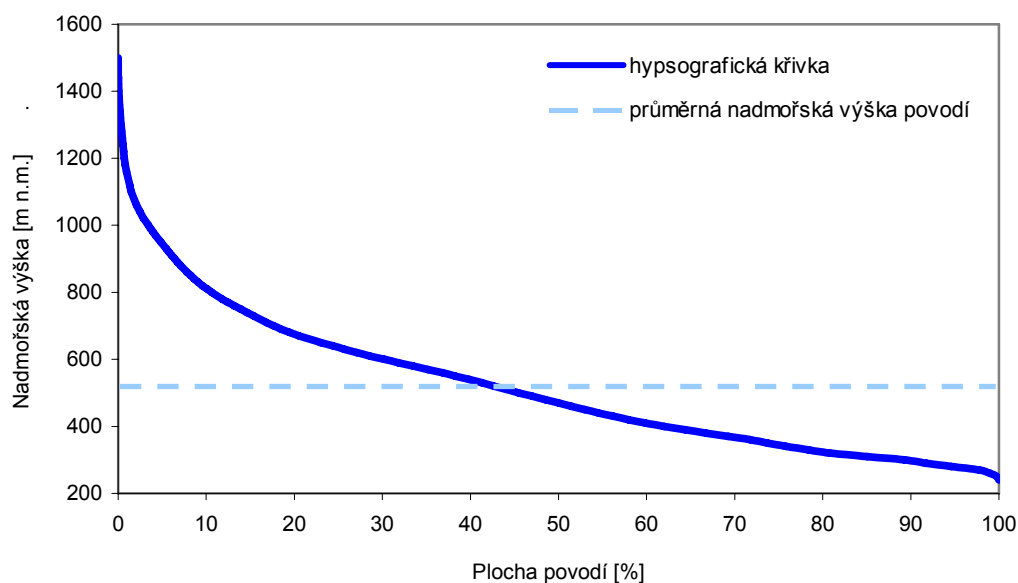
Opavská pahorkatina se vyznačuje plochým periglaciálním georeliéfem se širokou údolní nivou řeky Opavy, na jejichž svazích jsou místy patrné říční terasy.

Členitá orografie na převážné části plochy povodí rozhoduje významně o tom, do jaké míry je povodí citlivé na jednotlivé typy meteorologických situací a tedy na následném rozložení srážek v povodí.

3.3 Morfometrické charakteristiky

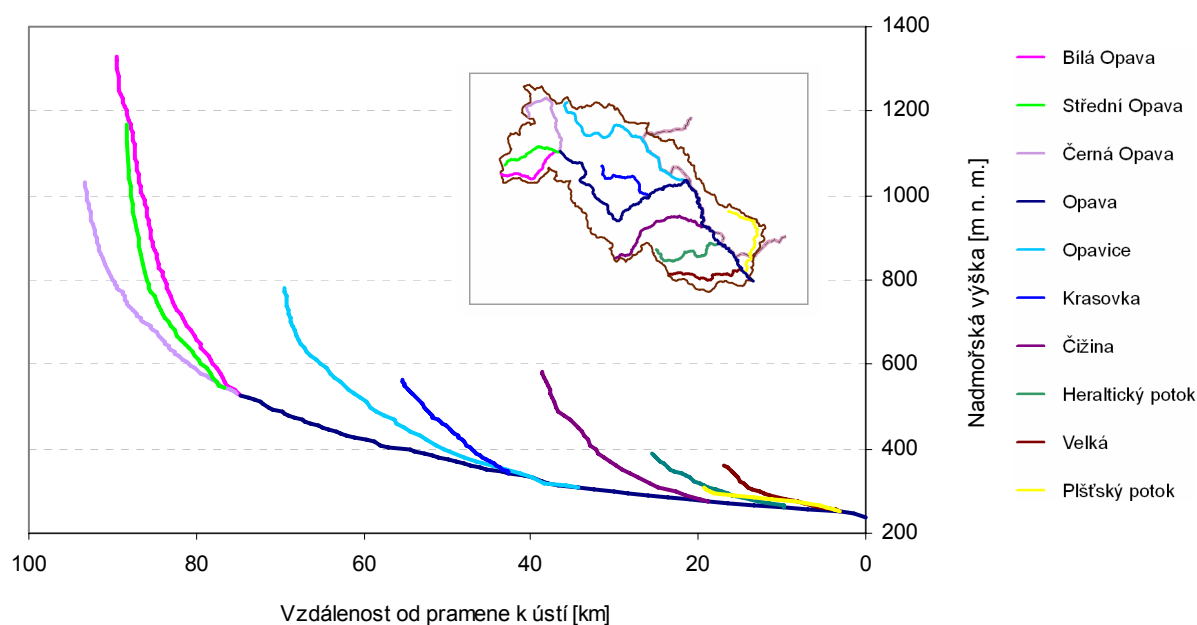
Morfologie terénu výrazně ovlivňuje rychlost a koncentraci povrchového odtoku, zásoby podzemní vody, ale i rozložení srážek v povodí. Výškové poměry povodí jsou znázorněny na Obr. 3.3. Nejvyšším bodem povodí je Praděd (1491,3 m n. m.) a nejnižší leží závěrový profil povodí Opavy ve městě Opava (240 m n. m.). Průměrná nadmořská výška povodí je 520 m n. m. Vlastnosti reliéfu se dají vyjádřit také pomocí převýšení Δh (rozdíl mezi max. a min. nadmořskou výškou povodí), které je 1251 m, spádu povodí I (převýšení k druhé odmocnině z plochy povodí), který nabývá hodnotu 40,67 ‰, koeficientu reliéfu R_h (převýšení k délce povodí), který činí 21,13 ‰ nebo využitím hydrografické křivky (Obr. 3.3). Všechny tyto charakteristiky naznačují na vysokou variabilitu v povodí Opavy, což se příznačným způsobem projevuje i při formulování povodňových odtoků.

Horní část povodí Opavy (přibližně po Vrbno pod Praděd) se vyznačuje značně členitým reliéfem, pro který je charakteristický vysoký spád toku (Obr. 3.4), velká sklonitost svahů (Obr. 3.5), úzká a hluboká údolí ve tvaru V až U [Langhammer, 2008]. Nejvyšší sklonitosti terénu (nad 45°) jsou dosahovány poblíž Pradědu v pramenné oblasti Bílé Opavy.



Obr. 3.3 Hypsografická křivka a průměrná nadmořská výška povodí Opavy.

Zdroj dat: DMÚ-25.



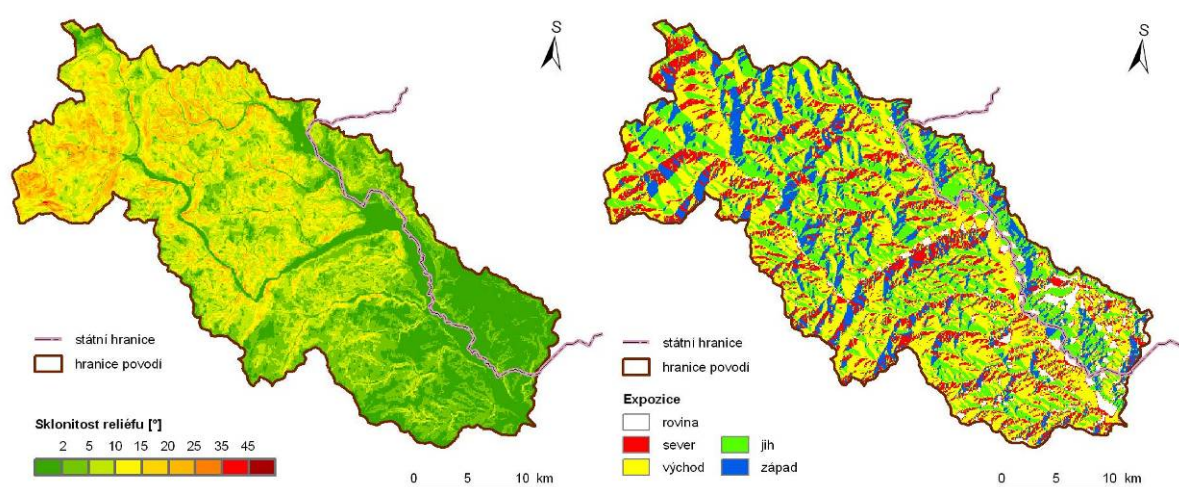
Obr. 3.4 Podélný výškový profil Opavy a jejích přítoků.

Zdroj dat: DMÚ-25, DIBAVOD.

O něco mírnější charakter mají horní část Opavice a další drobné toky nad Krnovem. Tyto vlastnosti reliéfu způsobují, že voda ze srážek v horských oblastech rychle odtéká po povrchu a v korytě toku, dosahuje velké rychlosti a síly, a nástupy povodňových průtoků bývají často rychlejší než v dolní části povodí. Směrem do nižších poloh dochází ke zmírnění sklonitosti svahů (Obr. 3.5), spádu toku (Obr. 3.4), údolí mají neckovitý

charakter a výrazněji se zde uplatňuje transformace odtokové vlny v korytě toku. V úseku toku přibližně mezi Krnovem a Opavou protéká řeka rovinatým územím s průměrným sklonem svahů $2,5^\circ$. V této oblasti dolního toku Opavy je vyvinuta rozsáhlá údolní niva, kde je v závislosti na využití území prostor pro rozliv, následnou retenci a transformaci povodňové vlny.

V povodí Opavy převládají východně až severovýchodně ukloněné svahy (Obr. 3.5), které citlivě reagují na cyklonální situace se severovýchodní až východní složkou proudění vzduchu. Při těchto povětrnostních podmínkách, které přináší srážky, dochází k jejich orografickému zesilování na úpatí Hrubého Jeseníku.



Obr. 3.5 Sklonitostní poměry a orientace svahů v povodí Opavy.

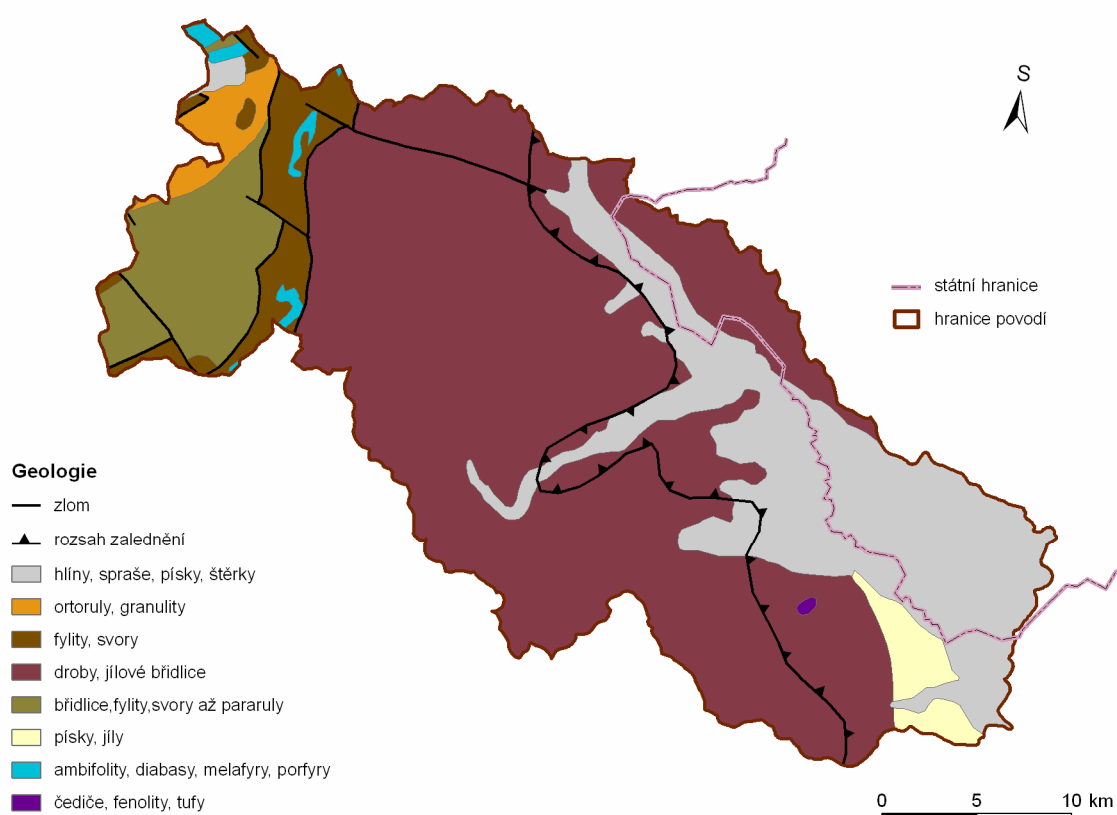
Zdroj dat: DMÚ-25, DIBAVOD.

3.4 Geologické a hydrogeologické poměry

Geologická stavba a složení hornin mají přímý vliv na velikost povrchového odtoku. Důležitou roli hraje stupeň propustnosti matečních hornin, neboť voda ze spadlých srážek, která infiltruje do propustných hornin, zvětšuje zásoby podzemní vody ve zvodních a do koryta vodních toků přitéká se zpožděním. Tím dochází ke zmenšení objemu povodňových vln. Naopak v povodích, která jsou tvořena slabě propustnými horninami, se většina srážkové voda neinfiltroje do podloží, rychle odtéká po povrchu do vodních toků a zvětšuje maximální průtoky.

Z geologického hlediska velká část povodí Opavy patří k moravskoslezské oblasti Českého masivu, která je budována převážně horninami proteozoického a paleozoického stáří. Nejstarší součástí této oblasti je prekambriické krystalinikum, které tvoří podklad a částečně zasahuje i do pásma Vnějších Západních Karpat.

V západní části povodí na povrch v klembových strukturách Jeseníku vystupují zvrásněné a rozlámání metamorfované horniny proterozoického stáří, tvořené pararulami a ortorulami (Obr. 3.6). Tyto horniny se vyznačují slabou propustností, což společně s vyššími sklony svahů zapříčiňuje rychlý povrchový odtok. Rozsáhlá oblast Českého masivu v povodí Opavy je budována moravskoslezským paleozoikem, které je tvořeno slabě metamorfovanými až nemetamorfovanými sedimenty a vulkanity paleozoického stáří. Oblast Nízkého Jeseníku a Zlatohorské vrchoviny pokrývají sedimenty jesenického spodního karbonu (kulmu) - především droby a jílovými břidlicemi [Demek, 1987].



Obr. 3.6 Geologická stavba povodí Opavy.

Zdroj dat: CENIA - Geologie ČR, Geologická mapa ČR.

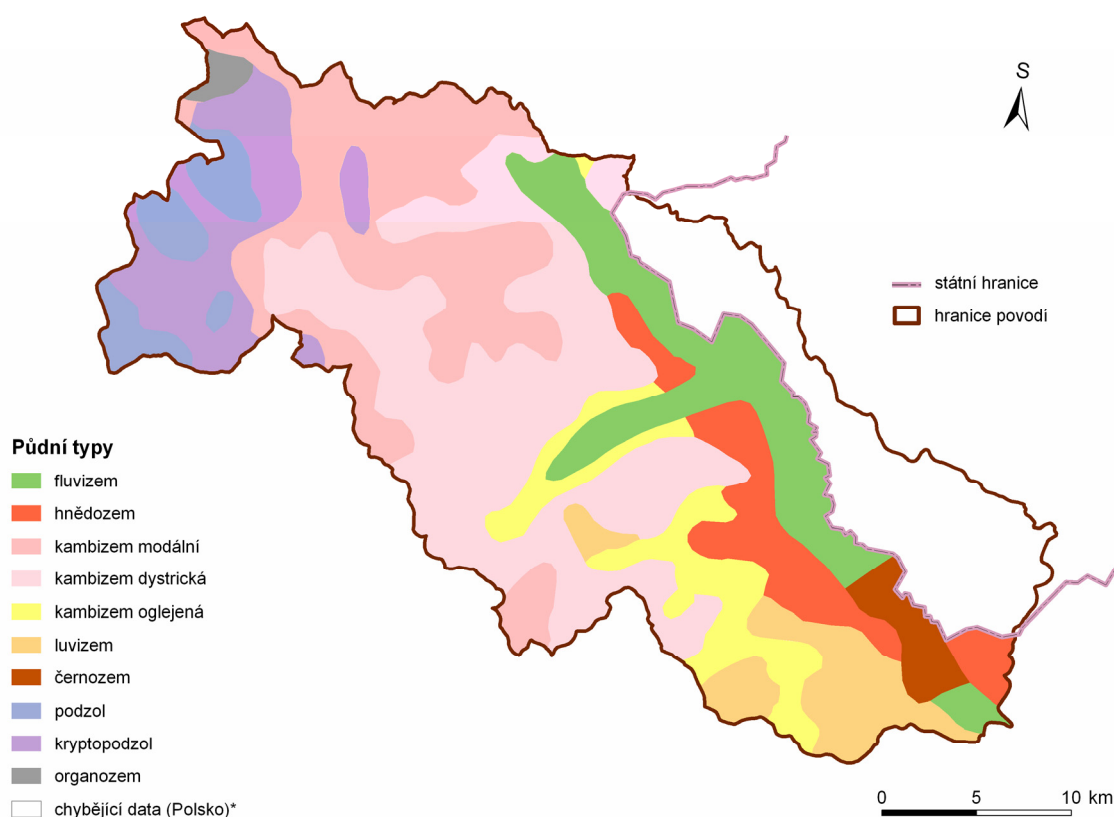
Území podél řeky Opavy v okolí Krnova a oblast Opavské pánve, kam ve spodním miocénu proniklo moře, náleží k Vnějšíším Západním Karpatům. Podloží je zde tvořeno především jíly, písky, štěrky, které jsou překryty fluvialními sedimenty (povodňové hlíny, písčité jíly a štěrky) a vyznačující se značnou mocností [Brosch, 2005]. Ze svrchního pleistocénu jsou v Opavské pánvi dochovány rozsáhlé pokryvy spraší a sprašových hlín, pro které je charakteristická špatná infiltrační schopnost.

Na území povodí Opavy v období středního pleistocénu pronikl ve dvou glaciálech pevninský ledovec (Obr. 3.6), který zde místy zanechal glaciální sedimenty (bludné balvany, sutě, kamenná moře, svahové hlíny).

3.5 Půdy

Rozložení půdního pokryvu v povodí Opavy je ovlivněno charakterem podložních hornin a jejich zvětralin, které vedly ke vzniku různých půdních druhů a typů.

Půdní pokryv se také uplatňuje při vývoji povodňových situací. Infiltrací dochází ke zmírňování odtoku, ale pouze do té doby, než je retenční kapacita půdy nasycena, poté povrchová voda z povodí intenzivně odtéká. Retenční kapacita půdy závisí především na jejím předchozím nasycení, promrznutí, druhu a typu půdy, její mocnosti, pórovitosti, na obsahu humusu a jílových frakcí aj.



Obr. 3.7 Půdní typy povodí Opavy. (*data se vztahují pouze k území ČR.).
Zdroj dat: Digitalizace dle půdní mapy - Tomášek [2000].

V nejvýše položených částech Hrubého Jeseníku dominují půdy štěrkovité až kamenité [Tomášek, 2000]. Půdy v této oblasti mají mělký půdní horizont [Brosch, 2005], což má za následek nižší stupeň retence vody v půdě. V níže položených lokalitách (Nízký

Jeseník a Zlatohorská vrchovina) převládají písčitohlinité a hlinité půdy, které mají nejlepší vlastnosti pro retenci a infiltraci vody do půdy. V nejnižších polohách povodí se nacházejí převážně půdy hlinité s významným zastoupením prachu [Tomášek, 2000].

Půdní typy (Obr. 3.7) výrazně odráží geologickou stavbu povodí. Nejvyšší partie jsou pokryty podzoly, v nižších částech Hrubého Jeseníku a pramenných oblastech řek, na ně navazují kryptopodzoly. V Nízkém Jeseníku se nacházejí kambizemě, které s rostoucí nadmořskou výškou přecházejí až v silně kyselé půdy. Podél vodních toků - Opavy až k Městu Albrechtice se nacházejí fluvizemě. Toto široké pásmo fluvizemí na páteřním toku a jeho délka (zpětného vzdutí) na přítocích svědčí o častých intenzivních záplavách. Opavskou pahorkatinu pokrývají četné luvizemě a hnědozemě [Tomášek, 2000].

Většina půd v povodí Opavy je poznamenána činností člověka. V níže položených oblastech dochází k intenzivnímu zemědělství a v horských polohách jde o lesnické zásahy. S lidskou činností souvisí časté poškozování půdního pokryvu, např. zvýšená vodní eroze, odnos půdy a humusu. Tyto destrukční jevy se projevují nejcitlivěji v době extrémních hydrologických situací.

3.6 Klimatické poměry

Podnebí povodí Opavy je dáno celkovou povahou evropského mírného klimatického pásu. Povodí, stejně jako celé území České republiky, leží v přechodné zóně mezi oceánským a kontinentálním typem klimatu.

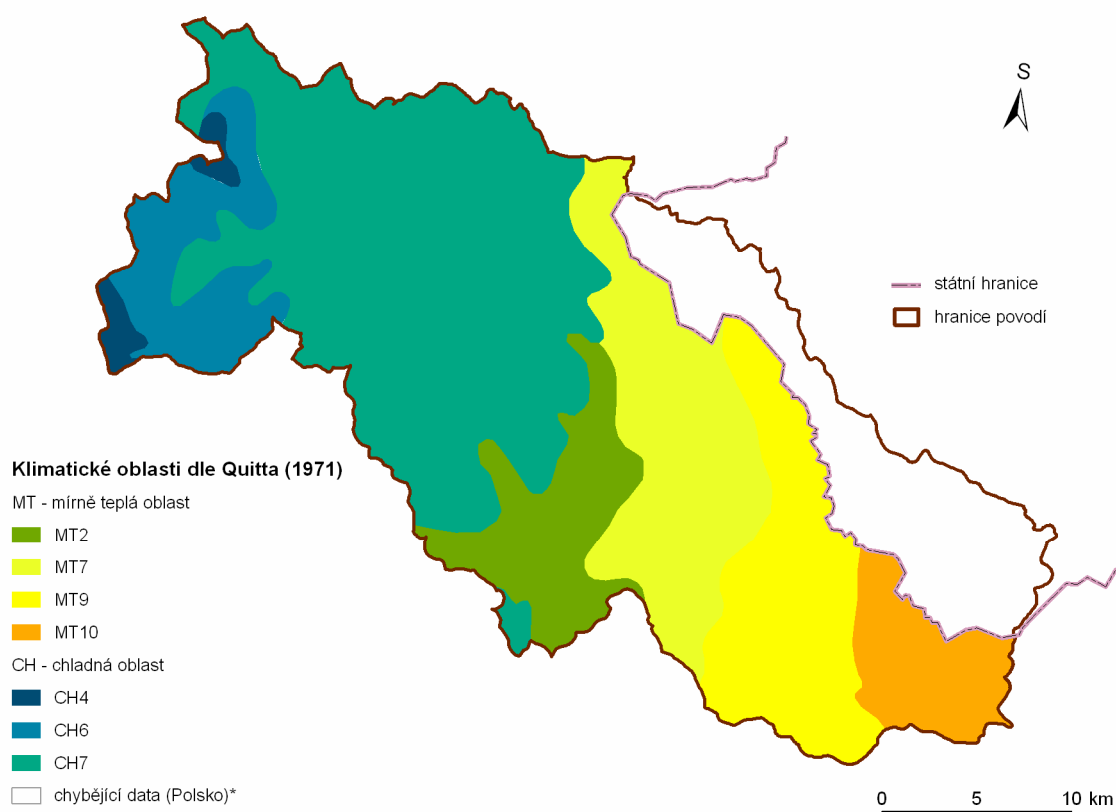
Podle Quitta [1971] se povodí Opavy nachází v chladné a mírně teplé klimatické oblasti (Obr. 3.8). Charakteristiky pro jednotlivé klimatické oblasti jsou uvedeny v Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Charakteristika klimatických oblastí v povodí Opavy.

Klimatické charakteristiky	Klimatické oblasti						
	CH - chladná oblast			MT - mírně teplá oblast			
	CH4	CH6	CH7	MT2	MT7	MT9	MT10
Průměrná teplota v červenci [°C]	12 – 14	14 – 15	15 – 16	16 – 17	16 – 17	17 – 18	17 – 18
Průměrná teplota v lednu [°C]	-6 – -7	-4 – -5	-3 – -4	-3 – -4	-2 – -3	-3 – -4	-2 – -3
Počet letních dnů	0 – 20	10 – 30	10 – 30	20 – 30	30 – 40	40 – 50	40 – 50
Počet mrazových dnů	160 – 180	140 – 160	140 – 160	110 – 130	110 – 130	110 – 130	110 – 130
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	150 – 160	120 – 140	100 – 120	80 – 100	60 – 80	60 – 80	50 – 60
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	120 – 140	140 – 160	120 – 130	120 – 130	100 – 120	100 – 120	100 – 120

Zdroj: Quitt [1971].

Povodí Opavy se vyznačuje velkou proměnlivostí počasí danou pestrým georeliéfem. Klimatické podmínky v povodí jsou výrazně ovlivněny nadmořskou výškou, která vzrůstá směrem od východu k západu. Při pohybu vzduchových hmot dochází k jejich interakci s orografií. Rovněž se jako důležitý klimatotvorný činitel ukazuje člověk, např. odlesňováním a průmyslovými aktivitami.



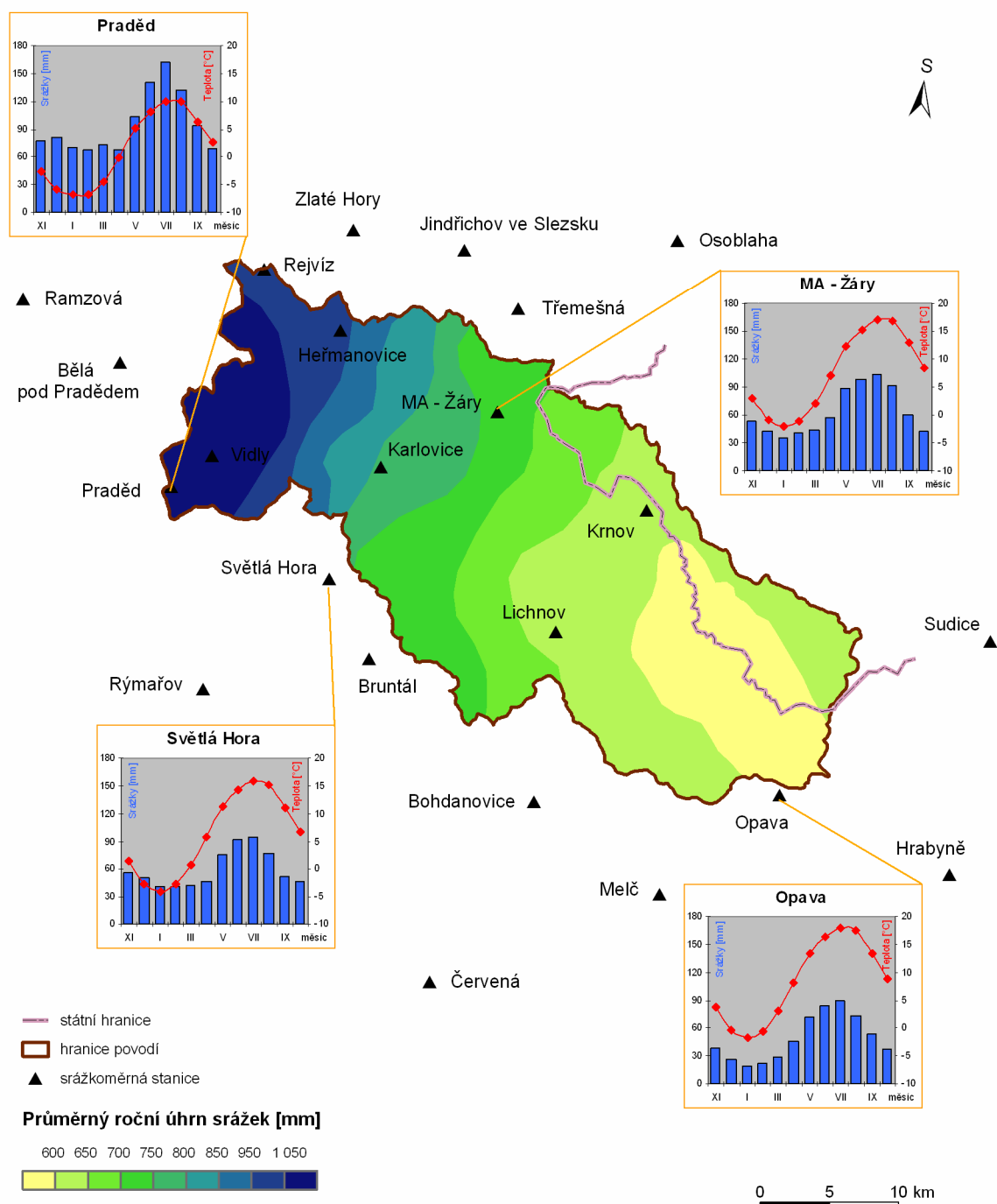
Obr. 3.8 Klimatické oblasti povodí Opavy, (*data se vztahují pouze k území ČR.).

Zdroj dat: Digitalizace podle Quitta [1971].

Srážky

Srážky, společně s cirkulačními podmínkami atmosféry (pohybem vzduchových hmot), jsou hlavním činitelem ovlivňující vznik povodní. Povodí Opavy je ovlivňováno přílivem vzduchových hmot z atlantské nebo ze Středomořské oblasti, což vede k rozdílným úhrnům srážek v závislosti na interakci s orografií. Výskyt vydatných atmosférických srážek je v povodí Opavy nejčastěji spojován s přechodem tlakové níže středomořského původu přes jižní Polsko, kdy povodí řeky Opavy leží na týlové straně cyklony [Brázdil *et al.*, 2005]. Při této situaci velkou roli hraje specifické morfologické uspořádání Hrubého Jeseníku, kde dochází vlivem návětrného efektu k zesilování dešťových srážek. Toto

proudění vzduchu ovlivňuje naše území především v letním hydrologickém půlroce, kdy jsou v povodí Opavy dosahovány nejvyšší srážkové úhrny (Obr. 3.9), které často zapříčiňují vznik povodní.



Obr. 3.9 Průměrný roční úhrn srážek a měsíční průměrné srážky a teploty na vybraných stanicích.
Zdroj dat: ČHMÚ.

Naopak srážkové epizody spojené s postupem frontálních systémů z Atlantiku, které převládají v západní části České republiky, v zimním půlroce v povodí Opavy způsobují povodně jen ojediněle [Brázdil et al., 2005]. Při těchto synoptických situacích povodí Opavy leží ve srážkovém stínu Hrubého Jeseníku a srážky nedosahují vysokých úhrnů.

Rozložení srážek v povodí je značně nerovnoměrné (Obr. 3.9). Nejvyšší roční srážkové úhrny jsou dosahovány ve vrcholových částech Hrubého Jeseníku a v pramenných oblastech toků. Průměrné roční úhrny srážek se pohybují okolo 1200 mm. Vysoké úhrny srážek jsou zaznamenávány i v horských údolích. Tyto oblasti jsou vlivem orografického zesilování srážek mnohem deštivější, než by jim příslušelo podle jejich nadmořské výšky. Vysoké srážky jsou také zaznamenávány v sousední Zlatohorské vrchovině. Zde jsou roční úhrny vyšší než 900 mm. V Nízkém Jeseníku klesají roční srážkové úhrny od západu (800 - 1000 mm) k východu (okolo 700 mm). Nejsušším regionem, s ročním úhrnem pod 650 mm, je Opavská pahorkatina, která leží ve srážkovém stínu Hrubého Jeseníku [Tolasz et al., 2007].

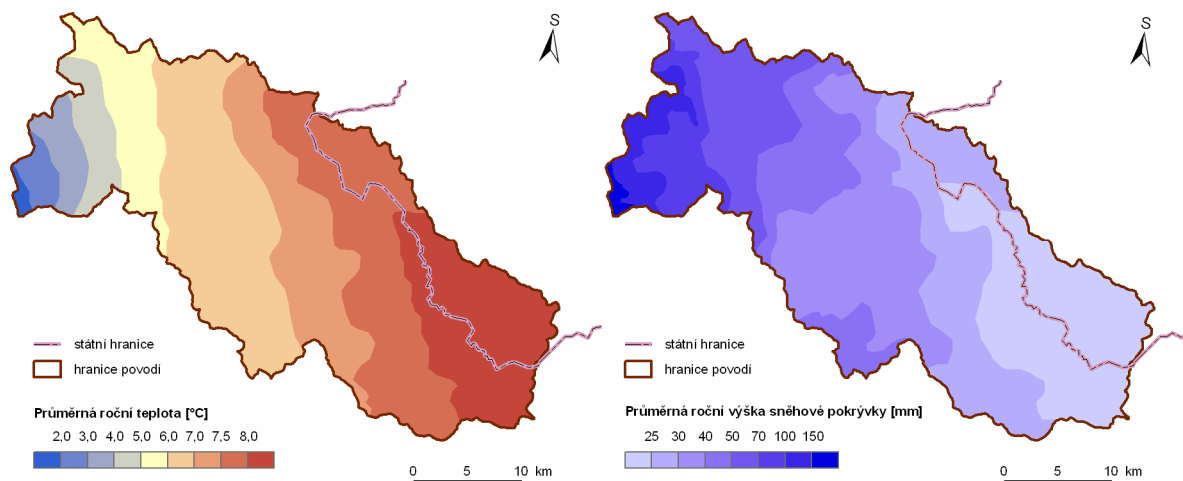
V povodí Opavy převládají letní srážky s maximem v červenci (Obr. 3.9). V letním hydrologickém půlroce jsou dosahovány i největší srážkové úhrny. Rozložení extrémní srážek je výsledkem spolupůsobení terénu a charakteristického proudění a nemusí být shodné s prostorovou distribucí dlouhodobých ročních úhrnů srážek [Brázdil, Štekl, 1986]. Absolutně nejvyšší denní srážkové úhrny v povodí Opavy byly dosaženy na stanici Rejvíz (6.července 1997 → 214,2 mm). Naopak nejmenší dlouhodobé měsíční srážkové úhrny se v povodí Opavy vyskytují v lednu a únoru (Obr. 3.9).

Sněhová pokrývka

Sněhová pokrývka (resp. zásoba vody ve sněhové pokrývce) je důležitým faktorem ovlivňující průtoky v jarním období. Samotný sníh, ani v kombinaci s dešťovými srážkami, v povodí Opavy nevyvolá extrémní odtokové situace, ale spíše drobná rozvodnění toků. Díky specifickému uspořádání Hrubého Jeseníku leží povodí Opavy při pohybu vzduchových mas od západu v jeho srážkovém stínu. Samotná sněhová pokrývka při méně vydatných srážkách působí jako „sací houba“ - je schopna srážkovou vodu zadržovat do doby plného nasycení retenční kapacity a působí spíše brzdícím účinkem na vytváření povodňových průtoků.

Pro zvětšování průtoků v jarním období vyvolaném táním sněhové pokrývky je mimo dešťových srážek rozhodující teplota vzduchu, nasycení a promrznutí půdy, výška sněhové vrstvy atd. Výška sněhové pokrývky silně odráží výškové poměry v povodí, což ukazuje

Obr. 3.10. Sněhová pokrývka se udržuje nejdéle v oblasti Pradědu, v průměru až osm měsíců v roce. Největší mocnosti dosahuje v horských oblastech v březnu, v jiných částech povodí již většinou v únoru.



Obr. 3.10 Průměrná roční teplota vzduchu a průměrná roční výška sněhové pokrývky.
Zdroj dat: ČHMÚ.

Teplota

Dalším meteorologickým prvkem, který přispívá ke vzniku zvětšených průtoků je teplota vzduchu. Bývá nejvíce ovlivněna výškovými poměry (Obr. 3.10).

Nejnižší průměrné roční teploty vzduchu klesají ve vrcholových polohách Hrubého Jeseníku ke 2 °C. Na hřebenech panuje studené a větrné klima, např. na Pradědu činí dlouhodobý roční průměr 1,2 °C (Obr. 3.9). V nejnižší položených oblastech povodí se průměrná roční teplota pohybuje okolo 8 °C.

Nejchladnějším měsícem v roce je leden. Průměrná teplota vzduchu se v tuto roční dobu kolísá v nejvyšších polohách Hrubého Jeseníku kolem -7° C, v Nízkém Jeseníku okolo -4° C a v nižších oblastech povodí dosahuje hodnota ponejvíce mezi -2 až 0° C. V červenci, v neteplejším měsíci roku, nedosahují teploty vzduchu ve vrcholových partiích Hrubého Jeseníku ani 10 °C, v Nízkém Jeseníku se teploty pohybují kolem 16 °C a v Opavské pánvi přesahují 18 °C [Tolasz et al., 2007].

3.7 Hydrologické poměry

Současné uspořádání říční sítě bylo ovlivněno geologickou stavbou podloží, geomorfologickým vývojem a změnami klimatu ve čtvrtohorách. Hlavní toky v povodí Opavy tečou převážně jihovýchodním až východním směrem, což souvisí s nakloněním Nízkého Jeseníku (Obr. 3.1).

Řeka Opava pramení pod horským pásmem Orlík v Hrubém Jeseníku ve výšce kolem 1100 m n. m. Zde vyvěrá jedna ze tří zdrojnic Černá Opava. Dalšími zdrojnicemi Opavy jsou Střední a Bílá Opava, které pramení pod Pradědem. Střední Opava pramení ve výšce kolem 1170 m n. m. nedaleko vrcholu Sokol. Bystřinný tok Bílá Opava vyvěrá ze země v nadmořské výšce kolem 1320 m.



Obr. 3.11 Opava v Opavě.
Foto: autorka.



Obr. 3.12 Opavice před Městem Albrechtice.
Foto: autorka.

Samotná Opava (Obr. 3.11) vzniká soutokem Černé a Střední Opavy ve Vrbně pod Pradědem v nadmořské výšce 540 m n. m. Zde má řeka bystřinný charakter, který pozvolna ztrácí před Krnovem, kde se údolí rozšiřuje a její koryto začíná vytvářet meandry. Pod Krnovem směrem k Opavě se tok rozevívá do široké údolní nivy.

Tab. 3.2 Vybrané hydrologické charakteristiky Opavy a jejích přítoků, (*povodí Opavy po limnigrafické stanici Opava) .

Vodní tok	Plocha [km ²]	Délka údolí [m]	Srážky [mm]	Průtok [m ³ .s ⁻¹]	Specifický odtok [m ³ .s ⁻¹ .km ⁻²]
Bílá Opava	27,81	13,7	1123	0,45	16,39
Střední Opava	56,07	12,5	1160	0,90	16,54
Černá Opava	58,73	18,2	1030	0,83	14,12
Krasovka	38,31	15,0	685	0,27	6,97
Opavice	194,69	34,9	745	1,33	6,81
Čížina	102,84	22,0	655	0,45	4,40
Heraltický potok	51,32	16,9	632	0,19	3,72
Pilštský potok	41,70	18,2	577	0,09	2,10
Opava*	929,73	88,3	740	6,45	6,82

Zdroj dat: HMÚ [1966].

Největším přítokem Opavy je Opavice (Obr. 3.12), která se zleva vlévá do Opavy v Krnově. Pramení ve Zlatohorské vrchovině v nadmořské výšce kolem 850 m. Nad Městem

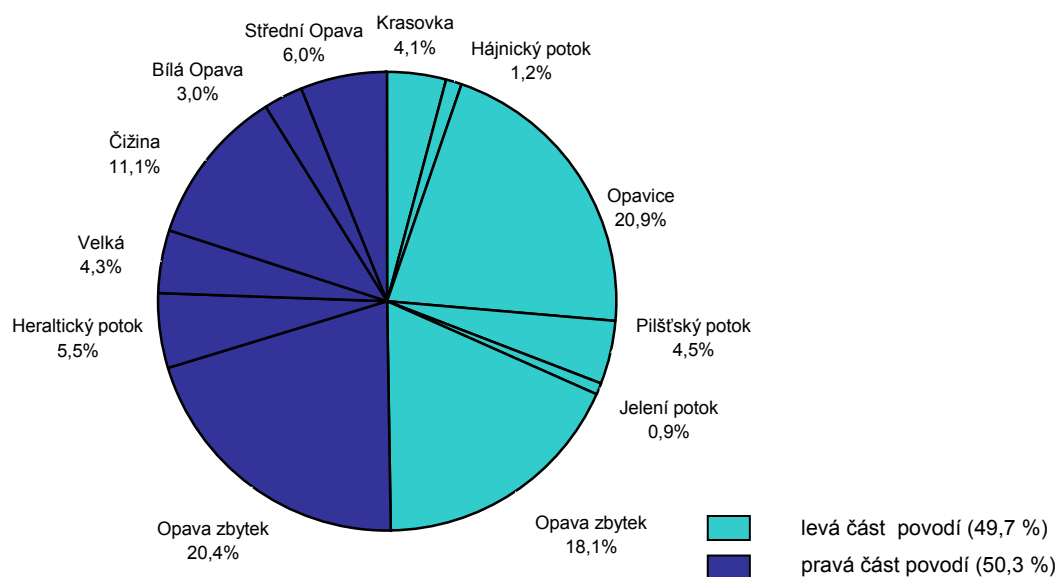
Albrechtice se údolí vodního toku zvolna rozšiřuje a tok začíná mírně meandrovat. Opavice je z velké části toku silně antropogenně upravena a jsou zde vybudovány protipovodňová opatření (zkapacitnění koryta, protipovodňové hráze).

Menším pravostranným přítokem Opavy je Čižina. Pramenní v hornatině nad Horním Benešovem a ústí do Opavy u obce Brumovice. Říční údolí je poměrně hluboké, které se v dolní polovině mírně rozšiřuje. Povodí Čižiny má podélný tvar, který společně se specifickým uspořádáním terénu, citlivě reaguje na místní přívalové srážky [Brosch, 2005]. Ty často zapříčiňují lokální bleskové povodně (např. květen 1996, červen 2009).

Za významnější přítoky Opavy (Tab. 3.2) lze považovat její pravostranné přítoky Heraldický potok, který ústí do Opavy u Holasovic a vodní tok Velkou. Druhým nejdelším levostranným přítokem je Pilštský potok pramenící v Polsku.

Hydrografické poměry

Rozsah a průběh povodňových vln je mimo jiné ovlivněn hydrografickými poměry povodí a koryt toků. Tyto specifické vlastnosti jednotlivých povodí společně s dalšími faktory výrazně ovlivňují vznik a vývoj povodňových situací.



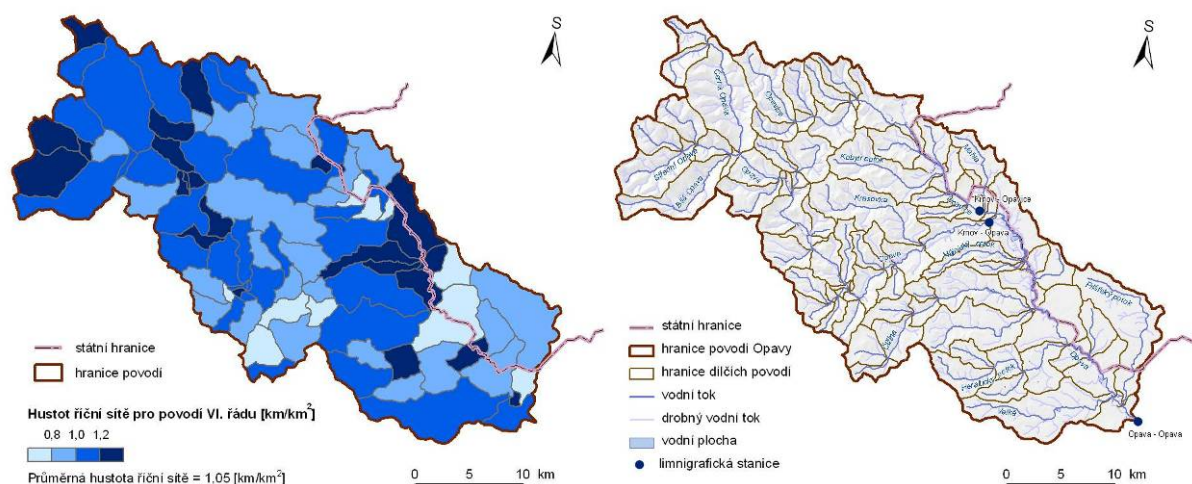
Obr. 3.13 Kruhový graf vývoje povodí.

Zdroj dat: DIBAVOD.

Důležitým ukazatelem, který má vliv na velikost povodně a její průběh je tvar povodí a uspořádání říční sítě. Tvar povodí Opavy vyjádřený pomocí Gravelliova koeficientu KG (délka rozvodnice ku délce kruhu o stejné ploše jako povodí) je 1,73, což naznačuje protáhlý tvar povodí. Charakteristika povodí α (plocha povodí ku čtverci délky toku) je v povodí

Opava představovaná hodnotou 0,12, což rovněž označuje protáhlý tvar povodí. Asymetrii přítoků vzhledem k hlavnímu toku udává koeficient souměrnosti plochy povodí KS (rozdíl pravé a levé části plochy povodí ku celkové ploše povodí), který pro povodí Opavy je 0,018 (souměrné uspořádání říční sítě), a dále kruhový graf vývoje povodí (Obr 3.13).

Celkový povrchový odtok z povodí je ovlivněn hustotou říční sítě r (délka vodního toku na 1 km^2 plochy). Hustota říční sítě pro povodí VI. řádu je zachycena na Obr. 3.14 a v průměru pro celé povodí Opavy odpovídá hodnotě $1,05 \text{ km/km}^2$.



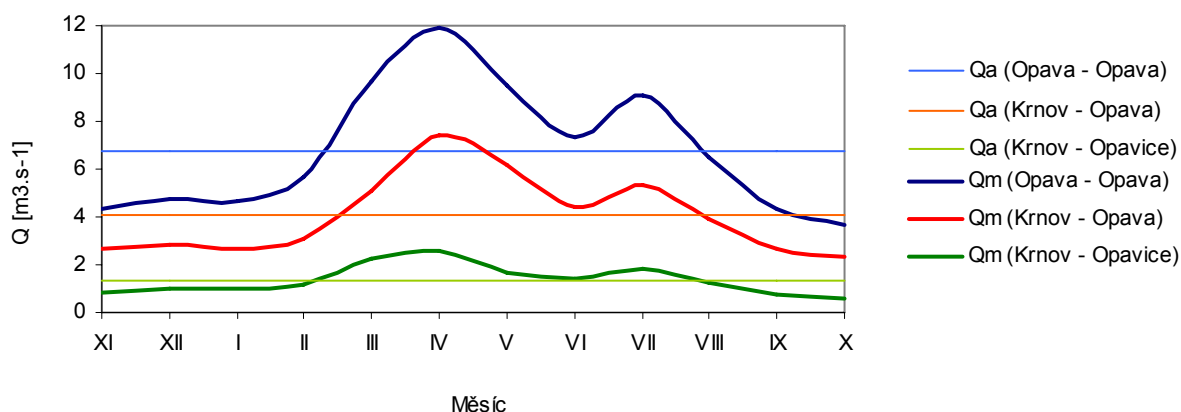
Obr. 3.14 Průměrná hustota říční sítě a hydrografická síť.

Zdroj dat: DIBAVOD.

Opava je tokem II. řádu (podle absolutního topologického modelu řadovosti toku) a je odvodňována řekou Odrou do Baltského moře. Sledované území povodí Opavy po profil Opava představuje necelé 1 % z celkové plochy povodí Odry.

Odtokové poměry

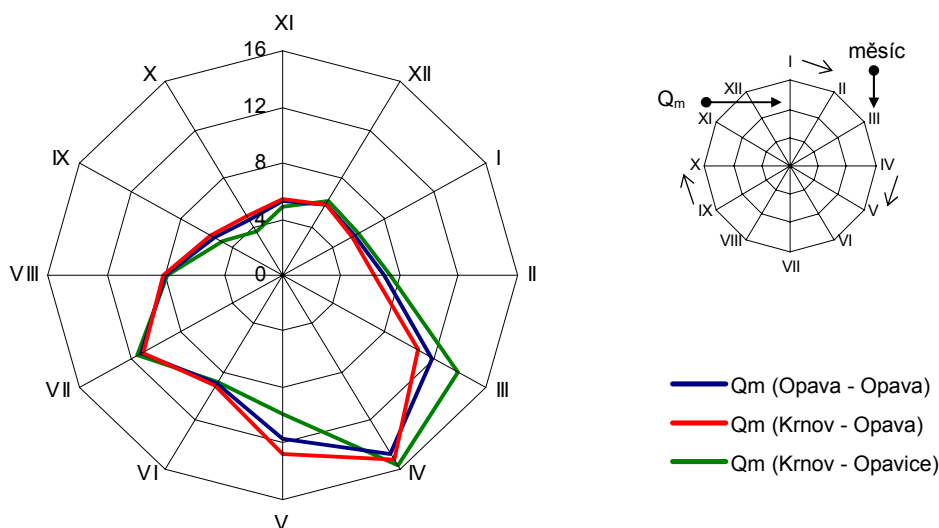
Rozložení průtoků v průběhu roku vychází především z klimatických a orografických poměrů povodí. Největší dlouhodobé měsíční průtoky jsou v povodí Opavy dosahovány v dubnu (Obr. 3.15), což je dáno táním sněhové pokrývky ve vyšších polohách a srážkovou činností v jarním období. Naproti tomu absolutní maxima objemu odtoku jsou nejčastěji dosahovány v letních měsících (v červenci). To souvisí s extrémními srážkami spojenými s přechodem cyklon středomořského původu a s východním až severovýchodním směrem proudění, kdy díky konfiguraci reliéfu dochází k zesilování srážek vlivem návětrného efektu. V této části roku byly také zaznamenány největší povodně (např. 1903, 1997). V červenci se také vyskytuje lokální maximum průměrných měsíčních průtoků. Naopak nejnižší průměrné objemy odtoku jsou dosahovány na podzim, a to v listopadu.



Obr. 3.15 Dlouhodobé měsíční průtoky (Q_m) a roční průtoky (Q_a) v období 1960-2007 na vybraných profilech v povodí řeky Opavy.

Zdroj dat: ČHMÚ.

Variabilita v odtoku na jednotlivých profilech v povodí Opavy je patrná z Obr. 3.16. Odlišnosti v měsíčním chodu průtoků lze pozorovat v jarním období, kdy dochází k tání sněhové pokrývky. V důsledku vyšší nadmořské výšky a větších sněhových zásob nastává v povodí Opavy nad Krnovem intenzivní tání sněhové pokrývky až v dubnu a květnu, kdežto v povodí Opavice již v měsíci březnu. Časová variabilita v době tání sněhové pokrývky v jednotlivých výškových oblastech povodí je jednou z možných dalších příčin absence velkých zimních povodní v povodí Opavy.

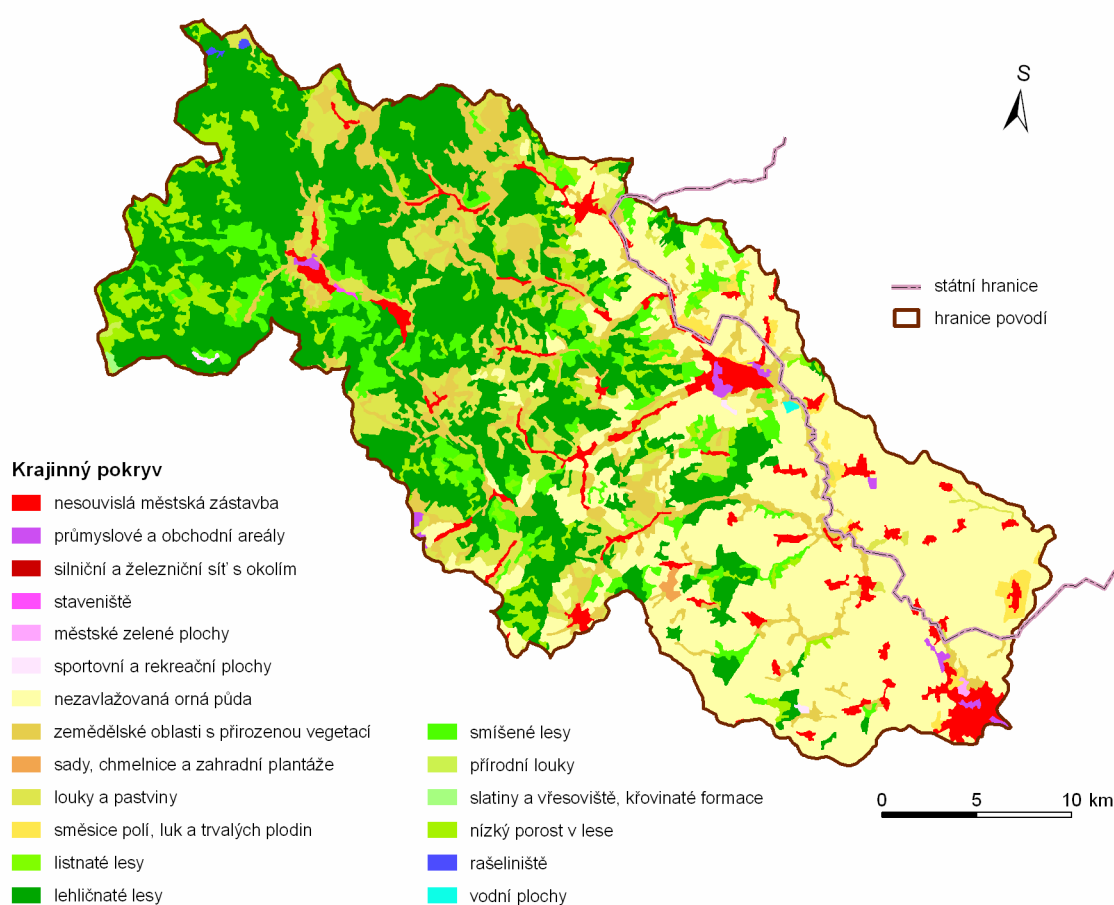


Obr. 3.16 Podíl dlouhodobých měsíčních průtoků na ročních průtocích (Q_m) v období 1960-2007 na vybraných profilech v povodí řeky Opavy.

Zdroj dat: ČHMÚ.

3.8 Krajinový pokryv

Krajinový pokryv má schopnost zachycovat určitý podíl srážkové vody intercepce, ovlivňovat rychlost svahového odtoku a infiltraci vody do půdy. Schopnost jednotlivých krajinových prvků ovlivňovat odtok je různá. Obecně lze říci, že nejlepší vlastnosti pro zpomalení odtoku a zadržení srážkové vody má les, pak následují louky a pastviny a nejhůře se projevuje orná půda. Z hlediska formování povodňových vln hraje důležitou roli především krajinový pokryv příbřežní zóny a údolní nivy společně s jejich transformačním a retenčním potenciálem.



Obr. 3.17 Krajinový pokryv povodí Opavy.

Zdroj: CORINE Land Cover [2000].

Území povodí Opavy je výrazně ovlivněno lidskou činností, z čehož vyplývají další antropogenní omezení ve využití retenční schopnosti krajiny. K transformaci povodňových vln, a tedy i k zmírnění následků povodní, je možné využít pouze část prostoru údolní nivy a příbřežní zóny. Vhodnost území pro rozliv vody je limitováno rozsahem zástavby, která

pokrývá přibližně 5,5 % plochy povodí Opavy [*CORINE Land Cover, 2000*]. Většina sídel je situovaná podél vodních toků a v údolní nivě řeky Opavy (Obr. 3.17) což výrazně omezuje retenční a transformační potenciál krajiny.

Z Obr. 3.17 je patrné, že rozložení jednotlivých vegetačních pokryvů v povodí Opavy je velmi nerovnoměrné. Ve východní převážně nížinaté části povodí dominují zemědělsky obhospodařované plochy, které zaujímají 46,5 % z celkové plochy povodí. Louky a pastviny pokrývají téměř 10 % rozlohy a orná půda se nachází na 26 % plochy povodí. Naopak na západě v horské části převažují lesy. V povodí Opavice a Opavy nad Krnovem tvoří lesy přibližně 75 % plochy území. Podíl lesních porostů na celkové ploše je 48 %. Nejvíce jsou zastoupeny jehličnaté lesy, jichž podíl na zalesněné ploše je 73 %. Rozloha lesů listnatých a smíšených je poměrně malá. Vodní plochy a rašelinné oblasti tvoří jen velmi malé procento rozlohy.

4 SOUBOR VSTUPNÍCH DAT

K analýze povodňových situací v povodní Opavy po profil Opava byla použita meteorologická data popisující stav atmosféry v předkulminační fázi jednotlivých povodňových případů (cirkulační příčiny meteorologického vzniku povodní, srážkové charakteristiky a pro zimní hydrologický půlrok i údaje o průměrné teplotě vzduchu a výšce sněhové pokrývky) a hydrologická data zaznamenávající odtokovou odezvu na tocích (kulminační průtoky a povodňové vlny). Primární data v podobě naměřených hodnot ze stanic byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem (dále jen ČHMÚ).

K identifikaci jednotlivých dnů během povodňové události byl použit obvyklý způsob [Wehry, 1968], kdy je den výskytu kulminace povodně označován jako DD, dny, které mu předcházely jsou symbolizovány jako D-1, D-2,...,D-5 a dny, které následovaly po kulminaci jako D+1 a D+2.

4.1 Kulminační průtoky a povodňové vlny

Pro hodnocení sezonality výskytu povodní byly vybrány kulminační průtoky z profilů Opava-Opava, Opava-Krnov a Opavice-Krnov (Obr. 4.1). Data byla získána z databáze ČHMÚ za období 1960-2007 a doplněna řadou dat o povodních z let 1896-1960 (pro profil Opava-Krnov a Opavice-Krnov z let 1899-1960), kterou uvádí ve své práci Kříž *et al.* [1964]. Do zpracování byly zařazeny případy přesahující hodnotu zvoleného průtoku (Tab. 4.1).

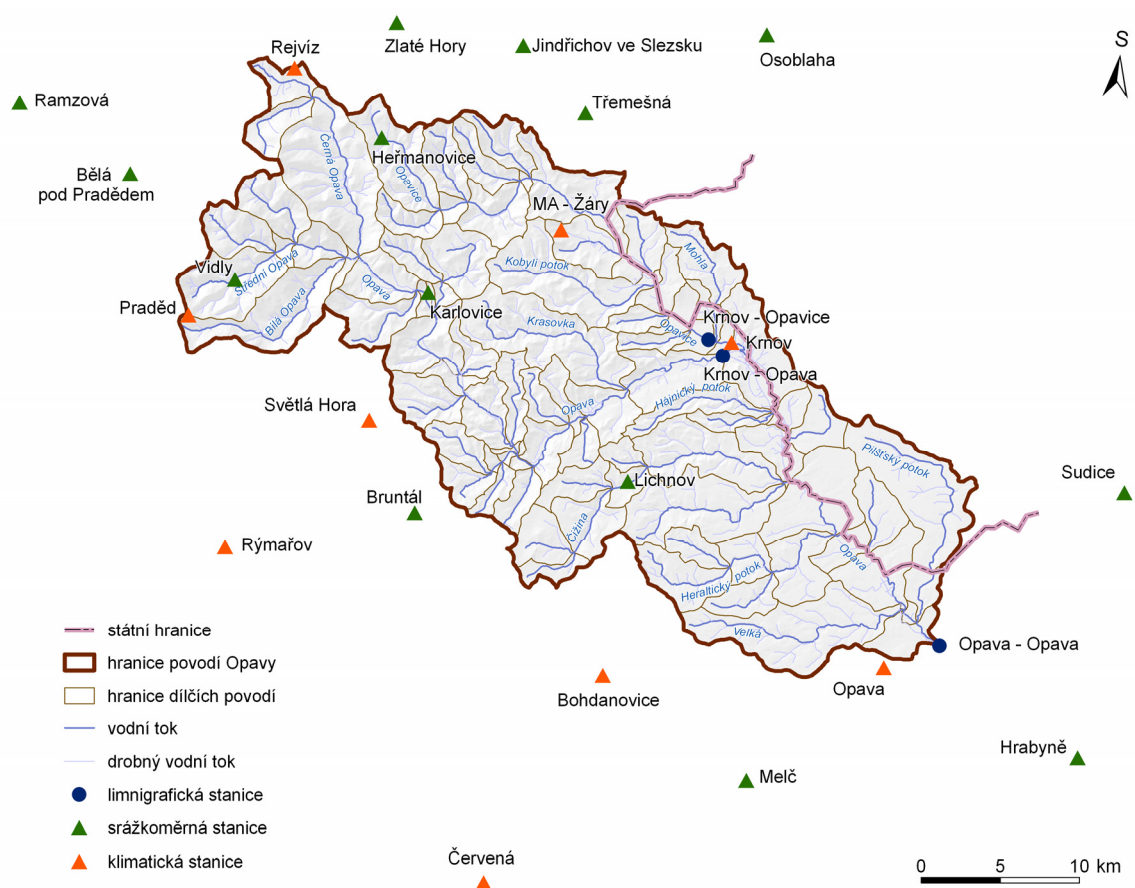
Tab. 4.1 Zvolené prahové průtoky a počet povodňových případů na vybraných profilech v povodí řeky Opavy v období 1896-2007, (pro profil Opava-Krnov a Opavice-Krnov referenční období 1899-2007).

Profil	Extremita [m ³ .s ⁻¹]	Počet případů	Profil	Extremita [m ³ .s ⁻¹]	Počet případů	Profil	Extremita [m ³ .s ⁻¹]	Počet případů
Opava- Opava (2660)	Q ₁ =45,6	127	Opava- Krnov (2630)	Q ₁ =24,9	110	Opavice- Krnov (2650)	Q ₁ =14,1	74
	Q ₂ =74	53		Q ₂ =41,1	59		Q ₂ =23,2	48
	Q ₅ =124	20		Q ₅ =69,8	16		Q ₅ =38,9	28
	Q ₁₀ =171	10		Q ₁₀ =97	8		Q ₁₀ =53,7	10

Zdroj dat: Kříž *et al.* [1964], ČHMÚ.

Pro účely podrobnější analýzy povodňových situací byly k dispozici průběhy povodňových vln z profilu Opava-Opava za období 1960-2007 s průtoky ve vrcholu povodňové vlny dosahující hodnoty alespoň jednoletého průtoku ($Q_1 = 45,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Pro tři největší povodňové situace byly poskytnuty povodňové vlny i z profilu Opava-Krnov

a Opavice-Krnov (1996, 1997 a 2007). Záznamy průtoků byly pořízeny v hodinovém kroku. Takto vytvořený soubor povodní z profilu Opava byl podroben podrobnější analýze a zařazen do databanky povodní. Přehled obsahoval 45 povodňových vln (Příloha I) z celkového počtu 51 případů vymezených na základě kulminačního průtoků za referenční období 1960-2007. Pro šest povodňových případů nebyly k dispozici průtokové hydrogramy v hodinovém kroku, proto nebyly zařazeny do databanky povodní a nebylo u nich přistoupeno k podrobnější analýze.



Obr. 4.1 Meteorologické a limnigrafické stanice ČHMÚ v povodí Opavy a v jeho okolí.

Zdroj dat: ČHMÚ, DIBAVOD.

4.2 Srážková data

V práci byla použita rovněž srážková data z meteorologické sítě ČHMÚ za období 1960-2007. Geografické rozložení použitých stanic dokumentuje Obr. 4.1. K dispozici byly hodnoty průměrných denních úhrnů srážek z 23 meteorologických stanic (devět uvnitř povodí Opavy a 14 v okolí) pro analyzované povodňové události od roku 1960. Při této hustotě reprezentovala jedna stanice srážkovou situaci v průměru na ploše 142 km²

(uvnitř povodí Opavy na ploše 103 km²). Některé stanice neměřily celé období 1960-2007, proto se v jednotlivých případech počet stanic měnil v rozmezí 18 až 23.

Pro tyto účely by bylo jistě vhodnější využít hodinové srážkové úhrny z ombrografů, na místo použitých denních úhrnů srážek. V tomto případě je však problém s dostatečným množstvím dat. Proto je třeba počítat s tím, že rozlišování srážko-odtokových epizod je jen hrubé, hlavně pokud jde o předstih srážek oproti odhadu [Čekal, 2005].

Bodová měření denních úhrnů srážek byla převedena v prostředí GIS pomocí interpolační metody na průměrné denní úhrny srážek a hodnoty API₃₀ [Hladný, 1962] vztahující se na plochu povodí Opavy. Ke stanovení srážkového pole byla použita tzv. Orografické interpolace srážek [Šercl, Lett, 2002], která uplatňuje předpoklad lineární regresní závislosti srážky na nadmořské výšce. Pro výpočet byl využit shlazený digitální model terénu s velikostí gridové buňky 1 x 1 km, který zvyšuje „nadmořskou výšku“ stanic položených v horských údolích oproti pahorkatinám. Nedochází tedy k podhodnocení průměrných srážek jako u prosté interpolace v lokalitách s menší hustotou meteorologických stanic [Šercl, Lett, 2002]. Přesto v případě srážek z konvekční oblačnosti může docházet k mírnému zkreslení informace. Přívalové srážky nejsou závislé na nadmořské výšce a v níže položených oblastech mohou srážkové úhrny dosahovat vyšších hodnot než v horských oblastech. V těchto případech může dojít k mírnému nadhodnocení srážkových úhrnů ve výše položených lokalitách. Průměrné úhrny na povodí byly vypočteny ze zpracovaných gridů pro dny D-5 až D+2. Pro databanku povodní byly následně gridy převedeny na mapy izolinií.

4.3 Výška sněhové pokrývky

K hodnocení sněhových poměrů v zimním hydrologickém půlroce (pro účely podrobnější analýzy povodňových situací v období 1960-2007) byla k dispozici výška sněhové pokrývky, která je měřena jednou denně na meteorologických stanicích. Sít stanic použitá k interpolaci byly shodná jako v případě srážek (Obr. 4.1). Výpočet průměrné výšky sněhové pokrývky na povodí byl proveden rovněž obdobným způsobem jako u srážek a to pro dny D-5 až D+2.

4.4 Teplota vzduchu

Zimní povodňové situace z období 1960-2007 byly doplněny o hodnoty průměrných denních teplot vzduchu z 9 klimatických stanic (Obr. 4.1). K výpočtu teploty vzduchu na povodí byla použita data ze 7 až 9 stanic, podle jejich délky řady pozorování. Počet stanic, ze kterých

jsou k dispozici teploty (pouze klimatické stanice), je menší než v případě stanic měřící denní úhrny srážek či výšku sněhové pokrývky. Vzhledem k tomu, že teplota vzduchu se vyznačuje menší prostorovou proměnlivostí, lze považovat tento soubor dat za dostačující. Výpočet průměrné teploty vzduchu na povodí byl proveden obdobným způsobem jako u srážek pro dny D-5 až D+2.

4.5 Synoptické podmínky

K hydrosynoptické analýze byla použita subjektivní typizace synoptických situací pro území Česka, vytvořená *Brádkou et al. [1961]* pro potřeby krátkodobé a střednědobé předpovědi počasí. Typizace obsahuje 28 synoptických situací. Každé povodňové situaci od roku 1960 byl přiřazen příslušný typ povětrnostní situace ve dnech D-9 až D+2 a určena příčinná povětrnostní situace, jako den, kdy se vyskytl nejvyšší úhrn srážek (více kapitola 5.4.1).

Výhodou tohoto katalogu je skutečnost, že je nepřetržitě aktualizován a že již dříve byl využit v jiných studiích, což umožňuje následné porovnávání dosažených výsledků. Přesto ke značným nevýhodám této typizace patří fakt, že byla navržena pro makroskopické rozměry meteorologických jevů, zatímco jevy, které vedou ke vzniku povodňových situací v prostoru povodí jsou spíše mezosynoptického měřítka [*Hladný et al., 1995*]. To vede k zjednodušení cirkulačních mechanismů předcházejících vzniku povodňové události a proto zde nejsou zachyceny detaily, které vedou k formování a vývoji oblačnosti. Rovněž z hlediska problematiky diplomové práce (osvětlující mechanismus vzniku povodní) není tento katalog příliš ideální, ale pro přiblížení vztahu mezi synoptickou situací a povodňovou událostí jej lze orientačně využít. Vhodnější by bylo použití typizace, kterou vytvořil *Brázdil a Štekl [1986]*, pro tu však není k dispozici katalog, což znesnadňuje její další využití.

Z těchto důvodů byly informace o cirkulačních podmínkách v předkulminační doplněny o trajektorie středů tlakových níží. K jejich vykreslení byly použity mapy přízemního tlakového pole publikované v periodických bulletinech *Denní přehled počasí* a z internetových stránek „Wetterspiegel“. Dráhy řídících cyklon byly znázorněny na mapě Evropy pro dny D-2 až DD. Rovněž databanka povodní byla doplněna o snímky přízemního a výškového tlakového pole pro dny D-3 až D-1.

5 MECHANISMUS VZNIKU POVODNÍ

Objasnění podmínek vzniku a vývoje povodňových situací v povodí Opavy po profil Opava je důležité z hlediska protipovodňové ochrany a hospodaření s vodou v celé Opavsko-ostravské pánvi, která se vyznačuje relativně vysokou hustotou zalidnění podél vodních toků a intenzivním zemědělským využitím.

Povodňové události vznikají zpravidla při synergickém spolupůsobení několika výjimečných podmínek v atmosféře v interakci s fyzickogeografickými poměry daného povodí. Identifikace předběžných fyzikálních symptomů a vztahů mezi příčinnými faktory v předkulminační fázi hraje důležitou roli pro predikci povodňového nebezpečí v dané oblasti (např. může prodlužovat předstih, doplňovat a zpřesňovat výstupy předpovědního modelu atp.) a pro včasnou ochranu obyvatelstva.

Proběhlé povodňové situace nám poskytují informace o závislostech mezi příčinnými cirkulačními podmínkami v atmosféře, časovém a prostorovém rozložení vyvolaných srážek v daném povodí, odtokové odezvě a o jejích následných projevech v příslušné říční síti. Přestože se předcházející symptomy vzniku povodní mohou v některých případech podobat, není žádná povodeň totožná, každá má svá specifika při průběhu krajinou a dopadech na životní prostředí. Vše se dá tedy předpovídat jen s určitou pravděpodobností.

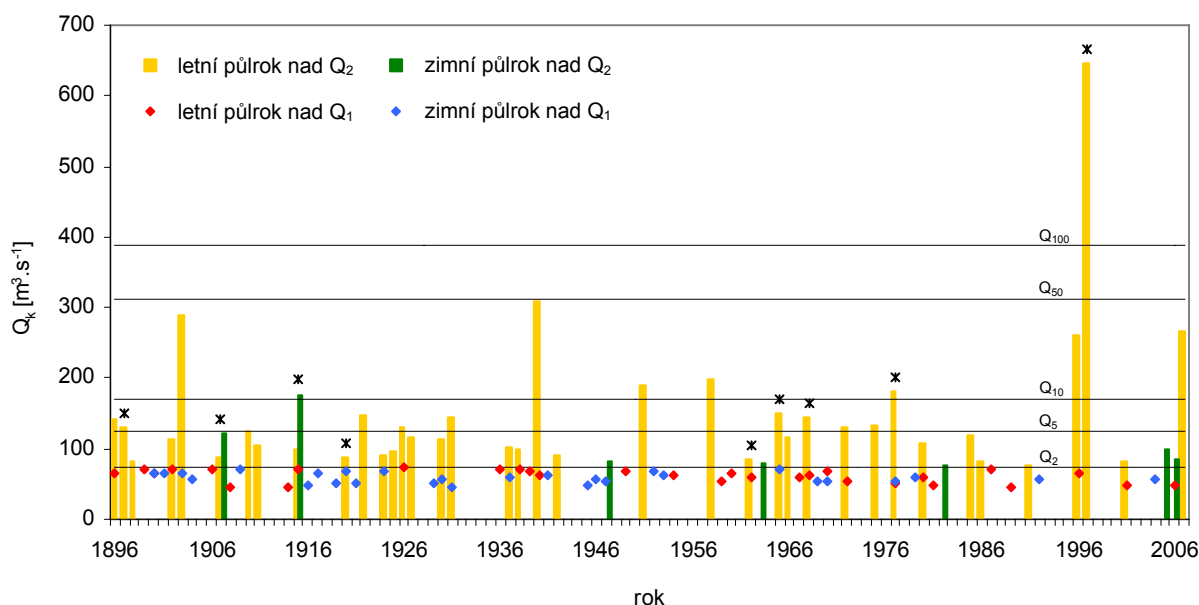
5.1 Výskyt povodní v letech 1896-2007

Povodňové situace, jako neoddělitelná součást oběhu vody v přírodě, se vyskytují nepravidelně v čase a prostoru. Některá údobí, lze označit jako období povodňového klidu, jindy se povodně vyskytují velmi často. Celé 20. století bylo na velké povodně chudší než předcházející 19. století [Munzar, Ondráček, 2005]. Tato skutečnost mohla vést i k jistému pozapomenutí toho, čeho jsou povodně schopny, což znovu v povodí Opavy připomněla katastrofální povodeň v červenci 1997 a opět i povodeň v září 2007. Povodeň 1997 nastartovala otázky související s možnými scénáři dopadů globální změny klimatu pro území střední Evropy, pro kterou vychází z řady různých modelů varianta zvětšování srážkových extrémů, tedy i častější výskyt velkých povodní.

Výskyt povodní v povodí Opavy v Opavě v období 1896-2007 ukazuje Obr. 5.1. Jsou zde znázorněny všechny známé povodně s kulminací přesahující hodnotu jednoletého (Q_1) a dvouletého (Q_2) průtoku v zimním a letním hydrologickém půlroce.

Pro povodí Opavy je typická převaha velkých povodní s kulminačním průtokem nad dvouletou vodu v letním půlroce (Obr. 5.1). Poměr sezónálních povodňových situací

v jejich celkovém ročním počtu je 6 : 1 ve prospěch letních povodní. Pokud by bylo porovnání provedeno pouze pro povodně s kulminací nad pětiletý průtok v Opavě, tak je poměr letních ku zimním povodní ještě výraznější (18 : 1). Podrobnější analýza časového výskytu povodní v povodí Opavy se uvádí v kapitole 5.3. Bohaté období na výskyt velkých povodní bylo desetiletí 1921-1930 (17 % z celkového počtu v referenčním období) a mezi lety 1961-1970 tento podíl činil dokonce 21 %, kdy nebylo výjimkou, že v průběhu jednoho roku se vyskytlo více extrémních průtoků. Naopak v období 1941-1960 byly zaznamenány pouze čtyři velké povodně.



Obr. 5.1 Chod povodní na Opavě v Opavě v období 1960-2007 podle průtoků a sezónálního výskytu, (hvězdička označuje roky, kdy se vyskytla více než jedna povodeň přesahující Q_2).

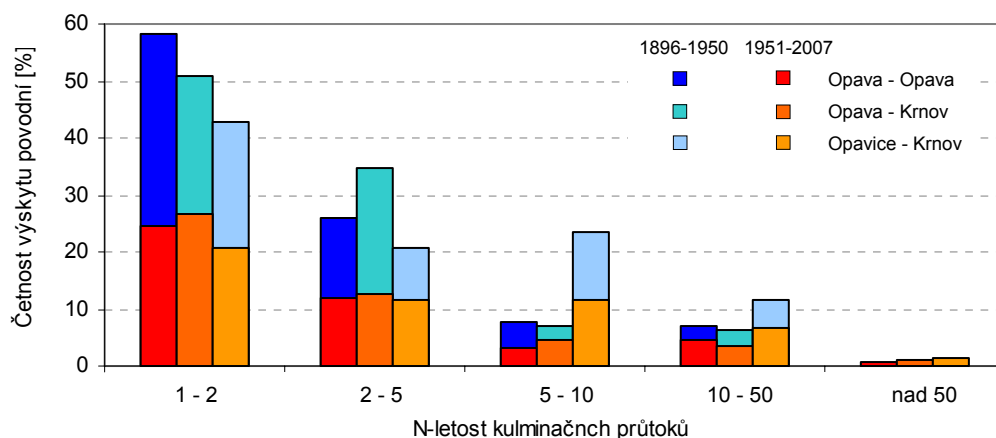
Zdroj dat: Kříž et al. [1964], ČHMÚ.

Rozložení výskytu malých povodní s kulminačním průtokem mezi jednoletou a dvouletou vodou v průběhu 20. století je více vyrovnanější než u velkých povodní (1,3 : 1 ve prospěch letních povodní). Přesto jsou zde vidět drobné nepravidelnosti v povodňovém režimu. V první polovině 20. století byl počet výskytu zimních a letních povodní téměř totožný (23 letních ku 20 zimním), v druhé polovině již byla patrná větší převaha letního povodňového režimu (1,6 : 1). Zajímavostí je zvýšená četnost výskytu zimních povodní v letech 1915-1930, kdy šlo převážně o jarní povodně. Na tento fakt upozornil i Vlasák [2006] na Lužnici v Písku. Naopak největší počet malých letních povodní připadá na období 1961-1970.

Výskyt povodní v průběhu delších časových období se může měnit jak prokázal Obr. 5.1, tzn. že není zaručena stacionarita jejich sezonality. V této souvislosti jsou stále častěji diskutovány otázky globální změny klimatu a možných jejich dopadů v podobě změn prostorové a časové variability výskytu povodní a velikosti jejich kulminací.

Celkový počet povodní v rámci dvou přibližně stejně dlouhých časových intervalů (cca 50 let) na jednotlivých profilech v povodí Opavy nad jednoletý kulminační průtok je téměř vyrovnaný či došlo k nepatrnému poklesu počtu povodní v druhé polovině 20. století (Obr. 5.2). Výraznější rozdíly jsou patrné ve velikosti kulminačních průtoků. V posledním půlstoletí (1951-2007) byl zaznamenán mírný nárůst extremity povodní. Počet povodňových případů nad 10letý kulminační průtok ve všech třech uvažovaných vodoměrných profilech (Opavice v Krnově a Opava v Opavě a Krnově) vzrostl o 20 až 30 % oproti první polovině 20. století. Naopak u povodní nepřesahující hodnotu dvouleté vody byl sledován pokles jejich počtu (výjimku představuje profil Opava-Krnov).

Nárůst extremity povodní naznačuje i poslední 15leté období (1996-2009), kdy povodí Opavy postihly tři povodňové případy přesahující hodnotu 10leté vody (květen 1996, červenec 1997 a září 2007). Povodeň z července 1997 dokonce představovala extrém, který v minulosti ještě nikdy nebyl zdokumentován [Řehánek, 2005].



Obr. 5.2 Četnost výskytu povodní podle jejich kulminačního průtoku na vybraných stanicích v povodí Opavy v období 1896-2007.

Zdroj dat: Kříž et al. [1964], ČHMÚ.

Zajímavostí je variabilita četnosti výskytu povodní podle jejich kulminačních průtoků na jednotlivých profilech v povodí Opavy (Obr. 5.2). U profilu Opavice-Krnov mají povodně nad pětiletý průtok výrazně větší procentuální zastoupení než na ostatních dvou

profilech (v Opavě a Krnově na Opavě), tzn. pokud nastane v povodí Opavice povodňová událost, má obvykle větší extremitu. To by se dalo vysvětlit například následovně:

- V letních měsících, kdy se vyskytují velké povodně, jsou vydatné srážky často vázané na severovýchodní až východní proudění vzduchu, při kterém úpatí Hrubého Jeseníku tvoří návětrný svah a srážky zde bývají nejintenzivnější. Při těchto synoptických situacích je povodí Opavice srážkově nejexponovanějším územím z celého povodí Opavy, protože z velké části leží právě na úpatí Hrubého Jeseníku. V centrální části Hrubého Jeseníku již srážky nemusí dosahovat takové vydatnosti, což může vést k tomu, že na horním povodí Opavy povodně dosahují menší extremitu než v povodí Opavice.
- Antropogenní zásahy v povodí Opavice a rozsáhlá zkapacitnění jejího koryta napomáhají rychlejší koncentraci vody ze spadlých srážek a průchodu povodňové vlny korytem.
- V povodí Opavy pod Krnovem je vyvinuta rozsáhlá údolní niva, kde v závislosti na využití území se nachází prostor pro rozliv, následnou retenci a transformaci povodňové vlny, což vede k prodloužení trvání povodňové vlny a ke zmenšení kulminačního průtoku.

5.2 Typy povodní na Opavě

Příčiny vzniku povodní byly podrobněji popsány v kapitole 2.3. Podle příčin vzniku je možné povodně rozdělit na dešťové, smíšené a sněhové [ČSN, 1983]. Pro zařazení povodní do jednotlivých kategorií je důležité identifikovat podíl vlivu tání sněhové pokrývky na vzniku povodní.

K rozlišení typů povodní podle příčin jejich vzniku v povodí Opavy v profilu Opava v období 1960-2007 byla použita jednoduchá statistická závislost mezi výškou sněhové pokrývky a dvoudenní příčinnou srážkou Obr. 5.3. Přestože tento způsob určení příčin vzniku povodní je velmi jednoduchý a nejsou zde zahrnuty vlastnosti sněhové pokrývky jako je vodní hodnota sněhu či časové a prostorové rozložení sněhu a vypadávajících dešťových srážek na povodí (pouze průměrná hodnota - Obr. 5.3), tak podává obecnější představu o hlavním zdroji zvýšeného odtoku.

Do analýzy byly zařazeny pouze povodně ze zimního hydrologického půlroku (ZHP). U povodní v letním půlroce bylo využito předpokladu, že povodně jsou způsobeny výlučně dešťovými srážkami bez podílu vody ze sněhu ne jen s velmi malým vlivem sněhu, který může v měsících květnu či listopadu pokrývat vrcholové partie Hrubého Jeseníku. Proto

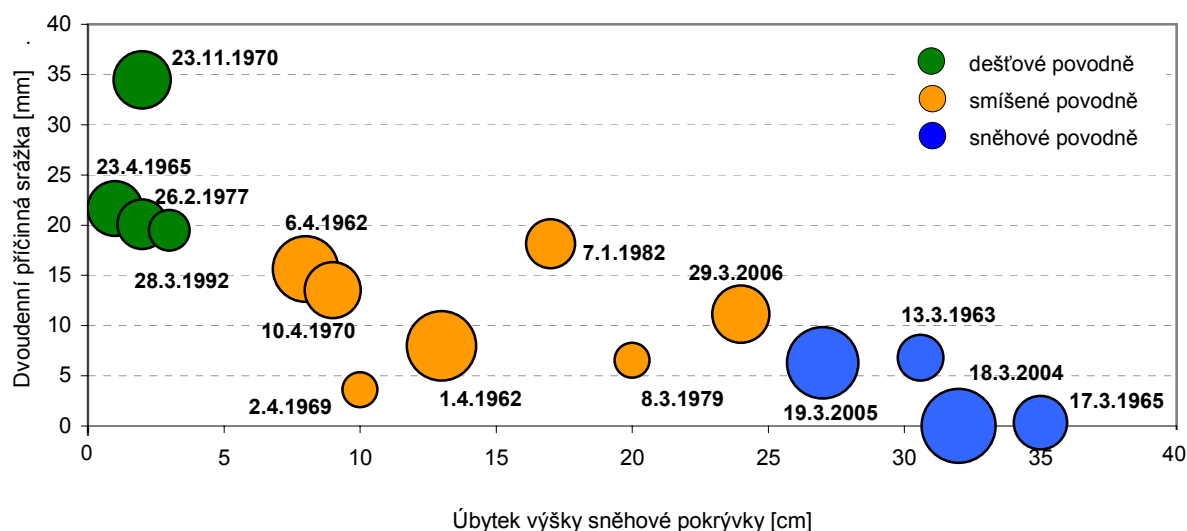
všechny povodně vyskytující se v letním období byly automaticky zařazeny do kategorie dešťových povodní bez dalšího podrobnějšího rozboru.

Z výsledků je patrné (Tab. 5.1), že povodí Opavy po profil Opava je velmi málo citlivé na výskyt povodní způsobených převážně táním sněhové pokrývky. Za povodně s čistě sněhovým charakterem lze považovat povodně z března 1963 a 2004, kdy během povodňových událostí nedošlo k vypadávání srážek a rozdíl teplot v době události byl vysoký. Další dvě povodně byly zařazeny do kategorie sněhových povodní. U těchto povodňových případů se dá předpokládat, že se tání sněhu podílelo na vzniku povodně rozhodujícím způsobem. Ostatní povodně v zimním půlroce vykazovaly kombinaci tání sněhu s vypadáváním dešťových srážek anebo se jednalo jen o dešťové povodně s minimálním či žádným podílem vody z tajícího sněhu. Přesto i na typicky dešťové povodně může mít neopomenutelný vliv tání sněhu. V jarních měsících (březnu až květnu) po od tání sněhové pokrývky je povodí nasycené a pokud dojde k vypadávání silných srážek, může dojít ke vzniku povodňové události.

Tab. 5.1 Vybrané charakteristiky a typ povodní v ZHP v povodí Opavy v Opavě v období 1960-2007, (SP - sněhová pokrývka, ZHP - zimní hydrologický půlrok).

Datum kulminace DD	Počet dnů vzestupu	Počet dnů nad 0°C před dnem DD	Nadmořská výška, nad kterou je SP v den DD [m n. m.]	Dvoudenní příčinná srážka [mm]	Typ příčinné situace	Charakter zimní povodně
1.4.1962	3	3 - 4	400 - 520	8,0	Wcs	smíšená
6.4.1962	3	3 - 5	300 - 480	15,6	B	smíšená
13.3.1963	5	4 - 8	270 - 380	6,8	Wcs	sněhová
17.3.1965	6	3 - 5	270 - 380	0,3	Wc	sněhová
23.4.1965	5	8	560 - 690	21,7	C	dešťová
2.4.1969	3	3 - 4	300 - 550	3,6	Wc	smíšená
10.4.1970	3	5 - 6	320 - 480	13,5	C	smíšená
23.11.1970	2	5 - 8	600 - 700	34,4	Bp	dešťová
26.2.1977	4	8	550 - 600	20,1	SWc ₃	dešťová
8.3.1979	5	3 - 8	310 - 550	6,5	Bp	smíšená
7.1.1982	4	3 - 6	380 - 450	18,1	Wc	smíšená
28.3.1992	5	5 - 8	530 - 600	19,5	C	dešťová
18.3.2004	7	7 - 8	420 - 550	0,0	A	sněhová
19.3.2005	3	5 - 4	250 - 300	5,3	Wc	sněhová
29.3.2006	4	3 - 6	260 - 390	11,1	SWc ₂	smíšená

Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 5.3 Typy povodní v zimním hydrologickém půlroce v povodní Opavy v Opavě v období 1960-2007, (velikost kolečka znázorňuje velikost nárůstu teploty - oteplení, 10 mm = 10°C) .

Zdroj dat: ČHMÚ.

5.3 Analýza sezonality výskytu povodní

Pravděpodobnost výskytu povodní v jednotlivých měsících roku se liší v závislosti na klimatických podmínkách, cirkulačních procesech probíhajících v atmosféře a fyzikogeografických vlastnostech daného povodí. Poznatky o časovém výskytu a případných změnách období s maximálním resp. minimálním výskytem povodňových případů v dané oblasti jsou důležité pro posouzení mechanismů a příčin vzniku povodní a tím i pro ochranu životního prostředí před povodněmi.

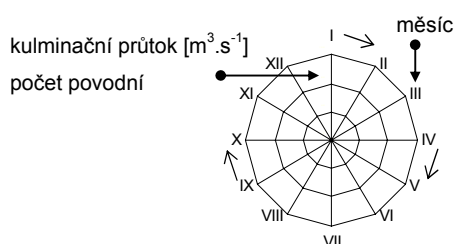
5.3.1 Metodika popisu sezonality

K posouzení sezonality výskytu povodní v povodí Opavy byly použity tři metody: metoda polárních grafů, metoda směrových statistik a metoda čar kumulativních četností výskytu povodní. Tyto metody jsou podrobněji popsány v Chalušová [2004], Čekal, Hladný [2009], zde jsou uvedeny jen stručně.

Metoda polárních grafů

Nejčastěji používanou metodou je znázornění rozložení sezonality výskytu povodní pomocí polárních grafů (Obr. 5.4). Metoda je založena na grafickém znázornění veličiny na růžicovém grafu. Jednotlivé měsíce v roce jsou reprezentovány průvodiči, na které se vynášejí parametry sledovaných jevů v daném období (např. absolutní a relativní veličiny počtu výskytu povodní nebo hodnoty maximálních či průměrných denních kulminačních

průtoků). Následně pro každý profil vzniká spojením koncových bodů průvodičů charakteristický obrazec. V případě rovnoměrně rozloženého jevu vznikne pravidelný dvanáctiúhelník. Ve skutečnosti je výskyt hydrologických událostí značně nepravidelný a v polárním systému souřadnic vznikají různá vychýlení [Chalušová, 2004]. Výhodu této metody je, že je jednoduchá, vizuálně názorná a dobře využitelná pro celkový přehled sezónálního rozložení výskytu povodní.



br. 5.4 Ukázka polárního grafu s popisem os.

Metoda směrových charakteristik

Jako doplňující charakteristika metody polárních grafů byla zvolena charakteristika průměrného data výskytu povodní v daném profilu (MD - *Mean Day*) [Čekal, Hladný, 2009] vypočteného podle souřadnic definovaných na základě výrazu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i) \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \quad (5.1)$$

kde \bar{x} a \bar{y} reprezentují x-ovou a y-ovou souřadnici průměrného data výskytu povodní v daném povodí,

θ_i je v kartézském systému souřadnic úhel směrového vektoru data průtokové kulminace povodňové vlny v jednotkové kružnici (v radiánech).

Jako doplněk k MD byla určena míra rozptylu povodňových případů, definována jako:

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (5.2)$$

kde \bar{r} je míra rozptylu.

Hodnota \bar{r} blízká jedné je charakteristická pro povodí se silnou sezónní závislostí výskytu povodní v určité části roku. Hodnota blízká nule ukazuje na rovnoměrné rozložení výskytu povodní v průběhu celého roku.

Počátek roku je orientován v nejvýchodnějších bodě jednotkové kružnice a pořadí dnů v roce probíhá proti směru hodinových ručiček.

Metoda čar kumulativních četností výskytu povodní

Metoda je založena na znázornění součtové četnosti výskytu povodní v pořadí jednotlivých dnů jednoho roku za určité referenční období. Průběh čáry (změna sklonu a její časový počátek i konec, dílčí ustálená tendence a její trvání) vymezuje charakteristické období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní neboli období zvýšené vodnosti (Obr. 5.8) [Chalušová, 2004].

5.3.2 Četnost výskytu povodní

Povodně se sice vyskytují zdánlivě nepravidelně v čase a prostoru, ale přesto se dají odvodit určité znaky, kterými se povodňový režim řídí. Sezonální charakteristika byla sledována u tří vodoměrných profilů, kde byly hodnoceny tři prahové kulminační průtoky nad jedno, dvou a pětiletou povodní. K porovnání sezonality na dílčích povodích byly použity relativní veličiny četnosti výskytu povodní K_i , definovaný jako:

$$K_i = \frac{\Sigma KQ_m}{\Sigma KQ_n} \quad (5.3)$$

kde KQ_m je počet povodní s kulminačním průtokem přesahující prahovou hodnotu v měsíci m za referenční období n ,

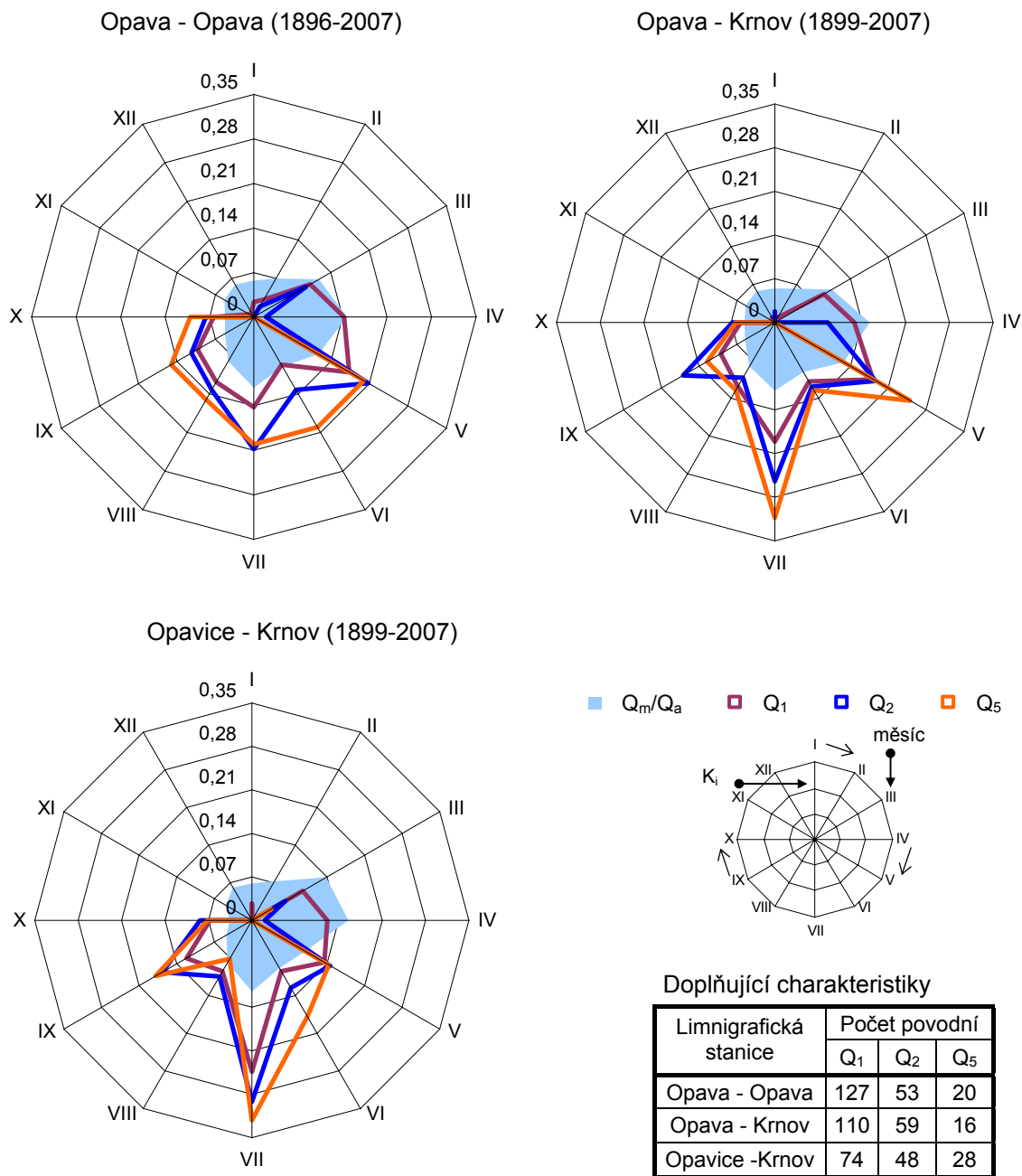
KQ_n je počet povodní s kulminačním průtokem přesahující prahovou hodnotu za referenčním obdobím n .

V dlouhodobé řadě (1896-2007) četností výskytu povodňových případů v průběhu roku v povodí Opavy je vidět dominující koncentraci povodňových případů do letního hydrologického půlroku (Obr. 5.5). Orientace velkých povodní na letní půlrok se projevuje u všech třech zpracovávaných profilů jen s odlišnou intenzitou. Asymetrie je nejvíce patrná u profilu Opavice-Krnov. V zimním období se zvýšená četnost výskytu povodní objevuje v jarním období (březen a duben). Přesto s narůstající extremitou kulminačního průtoku klesá počet povodní spojených s vlivem tání sněhové pokrývky a zvyšuje se jejich podíl výskytu v letním hydrologickém půlroce.

Hlavní příčinou absence velkých povodní v povodí Opavy v jarním období a v průběhu podzimu a zimy je spojené působení několika faktorů:

- Výškové rozdíly v povodí Opavy mají za následek, že sněhová pokrývky v jednotlivých výškových pásmech povodí odtává různou intenzitou, což vede k postupnému odtávání sněhových zásob v příslušných dílčích povodích a nedochází zpravidla k vytvoření velké povodňové vlny.

- V letním období jsou silné srážky nejčastěji vázané na severovýchodní až východní proudění vzduchu spojené s výskytem povětrnostních situací typu Nec, Ec, C a B [Brádka et al., 1961], při kterých povodí Opavy leží v návětrí Hrubého Jeseníku a srážky jsou vlivem orografického efektu zesilovány.



Obr. 5.5 Sezonalita výskytu povodní přesahující jednoletý (Q_1), dvouletý (Q_2) a pětiletý (Q_5) průtok na vybraných stanicích v povodí Opavy v období 1896-2007, (Q_m/Q_a - podíl průměrného měsíčního průtoku na průměrném ročním průtok).

Zdroj: Kříž et al. [1964], ČHMÚ.

- V zimních měsících naopak převládají západní cyklonální situace od Atlantiku, které přinášejí oteplení a dešťové srážky. Při těchto podmínkách se povodí Opavy nachází v závětrném srážkovém stínu Hrubého Jeseníku a k tání sněhové pokrývky tak dochází jen za malého přispívání srážek. Proto k výskytu povodní v této části roku dochází jen ojediněle.

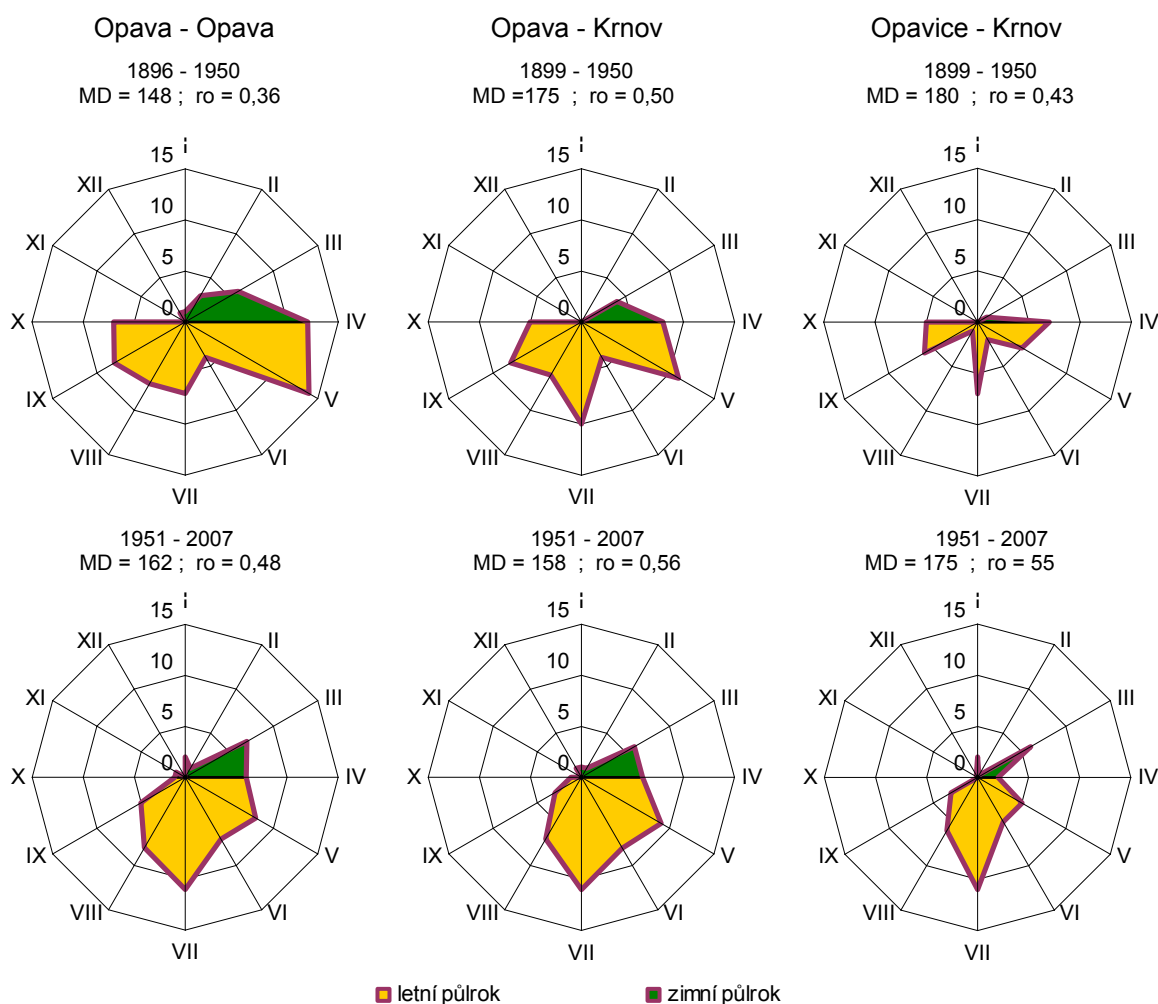
U jednotlivých profilů v povodí Opavy jsou pozorovány drobné odlišnosti v časovém výskytu povodní. Zejména roční chod ve výskytu povodní vykazuje specifické vlastnosti:

- U profilů Opava-Opava a Opavice-Krnov existuje v březnu vyšší pravděpodobnost výskytu zimních povodní nad dvouletým kulminačním průtok, kdy dochází k tání sněhové pokrývky. Naproti tomu v horním povodí Opavy po Krnov, které se vyznačuje vyšší nadmořskou výškou, je podružné jarní maximum posunuto do dubna. To je i jednou z příčin, proč se v povodí Opavy nevyskytují velké zimní povodně.
- Zvýšená četnost květnových povodní se vyskytuje u stanice Opava-Krnov. Horní povodí Opavy se vyznačuje vyšší nadmořskou výškou, kde se sníh udržuje do pozdních jarních měsíců, kdy intenzita tání sněhu může dosahovat již vysokých hodnot, což může vést k nasycení retenční a infiltrační kapacity povodí. Následné povodně jsou způsobeny kombinací nasyceného povodí v důsledku předchozího tání sněhové pokrývky a silnějších dešťů, jejichž vydatnost se zvyšuje s blížícím se létem. Naproti tomu v ostatních dvou povodí (Opava mezi Krnovem a Opavou a Opavice) srážky vypadávají na méně nasycená povodí (tání sněhu je posunuto do brzkých jarních měsíců) a nedochází k vytvoření povodňové vlny.
- Největší asymetrie se silnou převahou letního povodňového režimu je zřetelná u profilu Opavice-Krnov (o něco méně i u vodoměrné stanice Opava-Krnov), kde červencové povodně představují téměř 35 % všech povodní v průběhu roku. Příčinou je především poloha povodí Opavice (povodí Černé a Střední Opavy), která z velké části leží na úpatí Hrubého Jeseníku, kde bývají srážky nejintenzivnější (viz kapitolu 5.1)
- V závěrovém profilu Opava je výskyt povodní nejvyrovnanější v porovnání se zbývajícimi dvěma analyzovanými stanicemi v povodí Opavy, přesto si však také udržuje dominanci povodní v letním půlroce, ovšem bez výrazného červencové maxima. Absence vysoké četnosti červencových povodní v Opavě je způsobena především tím, že většina silných srážek vypadává v pramenné části povodí v oblasti

Hrubého Jeseníku (více kapitola 5.5), kde díky vyšší svažitosti terénu voda rychle odtéká, a níže po toku obvykle srážky nedosahují takové vydatnosti. Dále pod Krnovem, kde je rozsáhlá údolní niva, může docházet k rozlivům a transformaci povodňových průtoků a tím ke zmenšování kulminačního průtoků v profilu Opava-Opava, jak již bylo vzpomenuto v kapitole 5.3.1.

5.3.3 Dlouhodobé změny četnosti výskytu povodní

Dlouhodobé změny v četnosti výskytu povodní mohou poukazovat na vliv globální změny klimatu, ze které může docházet nejen ke změnám ve velikosti odtoku, ale i k posunům ve výskytu povodní v čase. Tyto změny mohou však také souviset jen s kolísáním přirozeného režimu ve výskytu povodní. Přestože sledované 100leté období



Obr. 5.6 Dlouhodobé změny sezonality výskytu povodní přesahující jednoletý průtok (Q_1) na vybraných stanicích v povodí Opavy v 50letých intervalech v období 1896-2007, (MD - průměrné datum výskytu povodní, r - míra rozptylu; legenda popis os: Obr.5.3 - počet výskytu povodní).

Zdroj dat: Kříž et al. [1964], ČHMÚ.

(1896-2007) může být z hlediska hodnocení změn ve výskytu povodní v závislosti na klimatických změnách krátké, byly změny sezonality posuzovány na základě dvou přibližně stejně dlouhých časových intervalů (50letá období), při čemž byla sledována četnost výskytu počtu povodní u tří profilů v povodí Opavy (Obr. 5.6).

5.3.4 Sezonální posun ve výskytu povodní

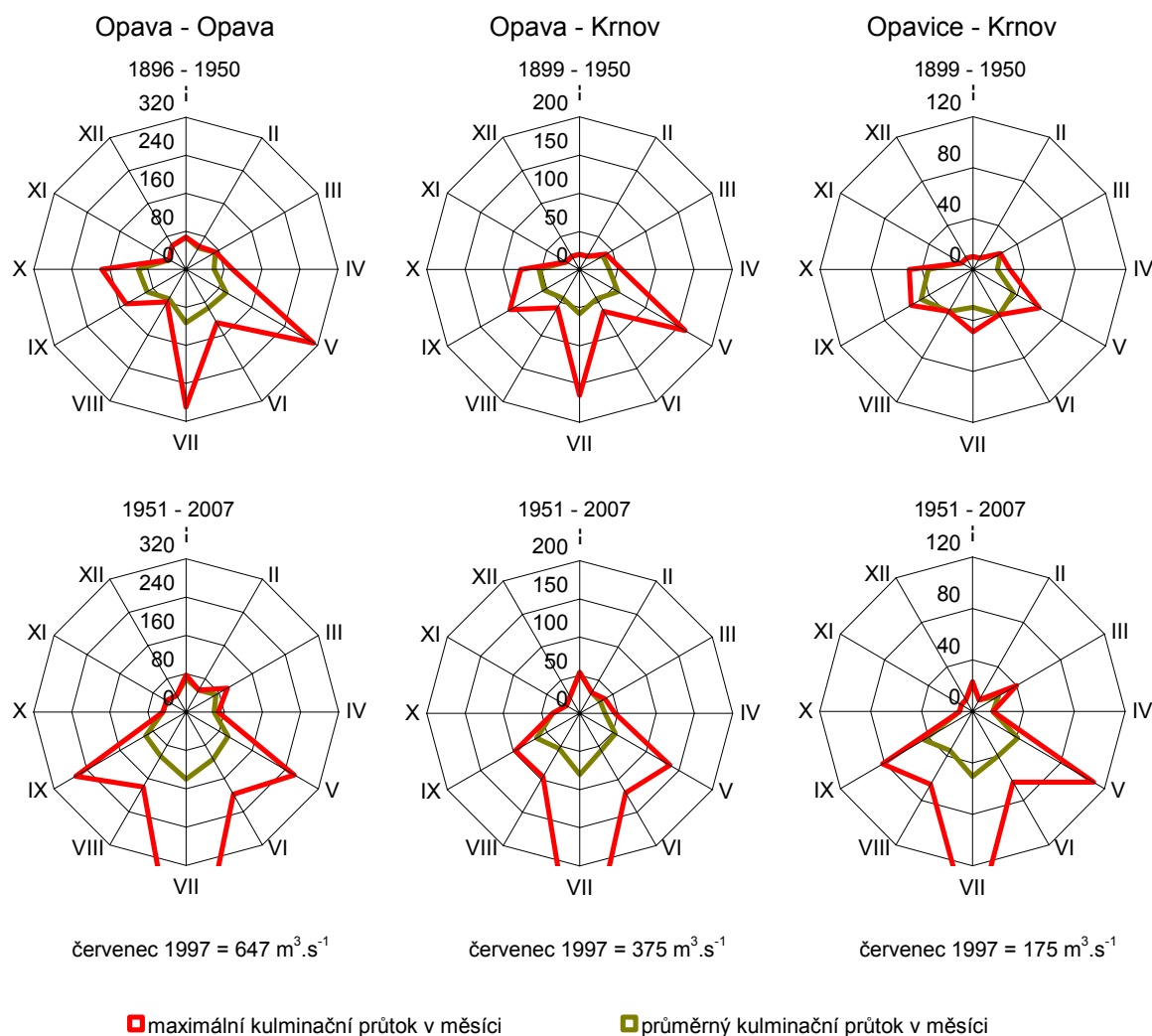
V průběhu minulého století došlo ke změnám (*shift*) v povodňovém režimu (Obr. 5.6) v povodí Opavy. Lze pozorovat výraznou proměnlivost ve výskytu povodňových situací v jednotlivých měsících mezi sledovanými obdobími. Zejména došlo ke změně ve výskytu ročního povodňového maxima.

Charakteristickým rysem povodňového režimu v povodí Opavy v druhé polovině 20. století bylo zvýšení výskytů povodní v letních měsících s maximem v červenci, kdy na Opavě v profilu Opava došlo k přesunu maxima četnosti letních povodní z května (1896-1950) do července (1951-2007). Tento jen potvrzuje i největší dosud pozorovaná povodeň z července 1997. V období 1896-1950 byl výskyt povodňových situací v letním půlroce rozdělen přibližně do tří podružných maxim. V následném období (1951-2007) je zachována dominance v letním hydrologickém půlroce a ještě došlo ke zkrácení období výskytu letních povodňových případů mezi květnem až srpnem s maximem v červenci. Větší asymetrii ukazuje i míra rozptylu \bar{r} , tzn. že zesiluje faktor sezonality (Obr. 5.6).

Dále je patrný sezonální posun maxima četnosti výskytu zimních povodní (Obr. 5.6) z dubna (1896-1950) do března (1951-2007). To je možné vysvětlit jako důsledek trendu zvyšujících se průměrných teplot, kdy dochází k poklesu sněhových zásob a sníh odtává dříve než tomu bylo v minulosti. Přesto spolehlivému hodnocení zimních povodní zabraňuje fakt, že za posledních sto let se jich v povodí Opavy vyskytlo poměrně málo, a proto tuto hypotézu nelze spolehlivě potvrdit. Také nemusí platit, že pokles výšky sněhové pokrývky souvisí s globální změnou klimatu.

Rovněž došlo k poklesu výskytů povodní v květnu a k nepatrně zvýšené četnosti výskytu povodní v červnu (např. povodeň z června 2009, kterou nebylo z časových důvodů již zahrnout do hodnocení). Pokles povodňových případů v květnu může úzce souviset se zvyšující se teplotou. V důsledku toho, že zásoby sněhu odtávají dříve než tomu bylo v minulosti, voda z roztátého sněhu stihne odtéct z povodí a v květnu, když vypadávají převážně již dešťové srážky, povodí není již nasyceno vodou ze sněhu a nedochází tak ke vzniku rozvodnění.

Celkově došlo k prodloužení povodňového klidu v zimním období, a to jak v jarních měsících, tak i na podzim, kdy se povodně s velkou pravděpodobností nevyskytují od října do února. Teoreticky sice došlo k poklesu počtu povodní na podzim (říjen a září), přesto povodeň na začátku září 2007 ukázala, že v tuto roční dobu se ojediněle povodně mohou rovněž reálně vyskytovat.



Obr. 5.7 Sezonální rozložení maximálních a průměrných kulminačních průtoků [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] na vybraných stanicích v povodí Opavy v 50letých intervalech v období 1896-2007. (legenda popis os: Obr.5.3 - kulminační průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]).

Zdroj dat: Kříž et al.[1964], ČHMÚ.

5.3.5 Výskyt maximálních průtoků v průběhu roku

Největší povodně charakterizované kulminačním průtokem [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] se v povodí Opavy vyskytují v letním období v červenci a podružná maxima v květnu a září (Obr. 5.7). Rozložení maximálních kulminačních průtoků povodní v daném období roku do určité míry zachovává trend jako u sezonní četnosti výskytu počtu povodní (Obr. 5.6 a 5.7). Je zde

patrná jistá závislost maximálního průtoku na četnosti výskytu povodní v jednotlivých měsících roku. Nelze však říci, že existuje období, kdy se velké povodně vyskytovat nemohou, ovšem pravděpodobnost jejich výskytu v měsících s menší četností výskytu povodní je mnohem menší.

V průběhu minulého století byly pozorovány i změny v extremitě povodňových průtoků. Ty v hrubých rysech kopírují dlouhodobé změny četnosti výskytu povodní (Obr. 5.6 a 5.7). K největšímu nárůstu velikosti maximálních kulminačních průtoků (téměř až čtyřnásobnému) došlo v povodí Opavice. U profilů na Opavě je zvětšení maximálních průtoků pozorováno v červenci a září, naopak v květnu extrimita povodní poklesla. Dále je charakteristické zvětšení extremity průtoků v zimním půlroce u všech sledovaných profilů.

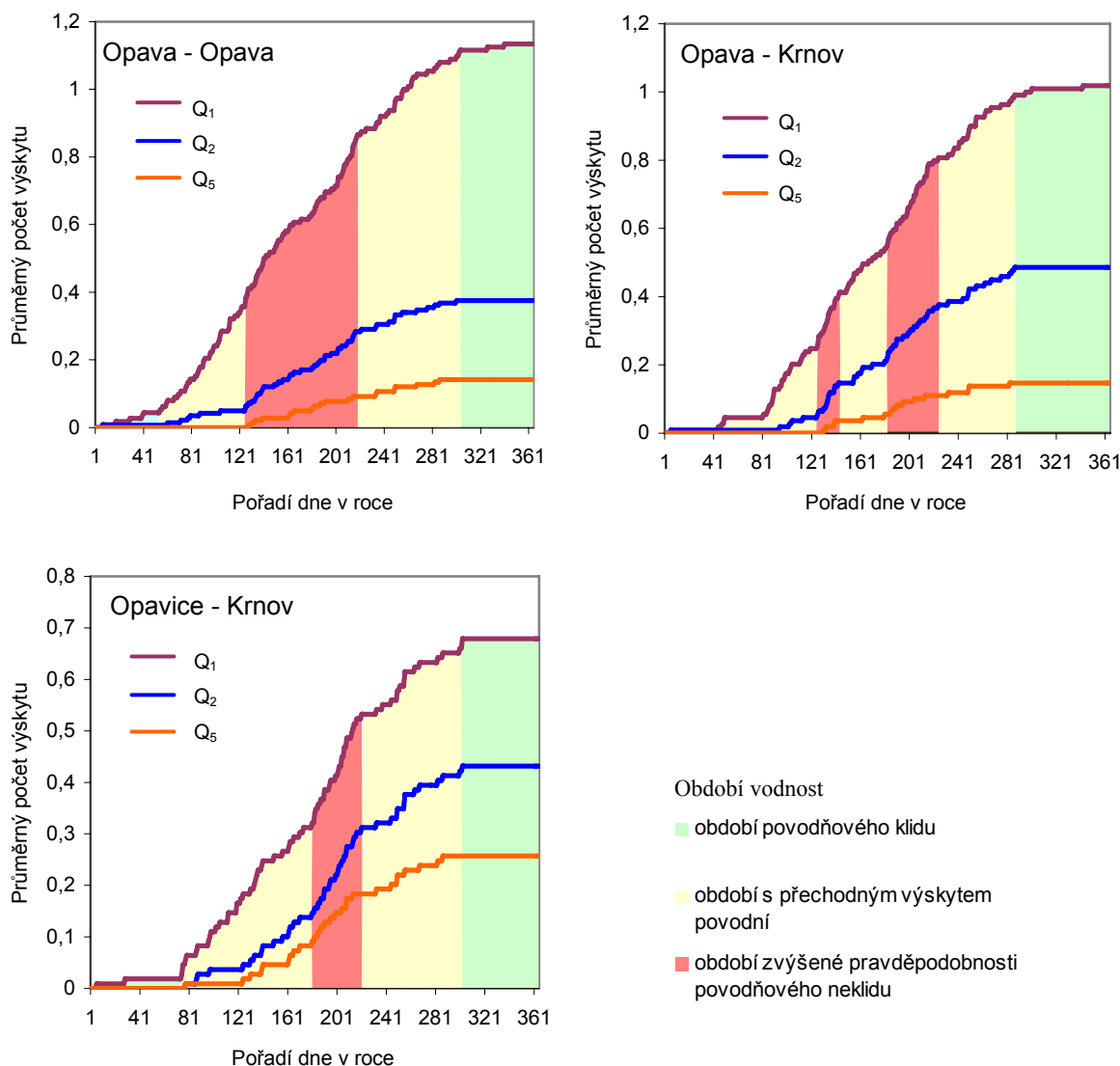
5.3.6 Období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní

Metoda součtových čar umožnila identifikovat období se zvýšenou či sníženou pravděpodobností výskytu povodní potažmo období s velkou či malou vodností. Součtové čáry byly vytvořeny pro tři limnigrafické stanice v povodí Opavy v období 1896-2007. Z grafů (Obr. 5.8) jsou patrné některé zákonitosti povodňového režimu, které potvrzují závěry vyslovené *Chalušovou* [2004]:

- Změna sklonu průběhu čáry na všech prahových hodnotách odpovídá přibližně stejnému dni v roce.
- Strmější sklon představuje období s větší pravděpodobností výskytu povodní
- Rok je možné rozdělit na tři různě vodná období: tzv. období povodňového neklidu, období povodňového klidu a přechodné období.
- V rámci vymezených období mají součtové čáry přibližně lineární průběh.

Na jednotlivých profilech v povodí Opavy odpovídají změny ve sklonu průběhu čáry přibližně stejnému dni v roce povodňového klidu (Obr. 5.8). Období povodňového klidu v povodí Opavy trvá přibližně od 289 dne (polovina října) a končí v 58 dni, tzn. konec února. Nejdelší období s největší pravděpodobností výskytu povodní je pozorované na profilu Opava-Opava. Naopak na Opavici je nejvodnější období mnohem kratší, nastává v 181 dni (30.6) a končí 213 (9.8). V tuto dobu je sklon průběhu součtové čáry velmi příkrý i u kulminačních průtoků nad dvouletou vodu (Obr. 5.8), což naznačuje zvýšenou pravděpodobnost výskytu velkých povodní. Ve stanici Opava-Krnov je období povodňového neklidu rozděleno do dvou časových úseků. První se projevuje přibližně v měsíci květnu (122-144 den) a druhé v červenci (183-225 den). Mezi dobou povodňového klidu a neklidu

se nachází tzv. období s přechodným výskytem povodní, kdy jsou především zaznamenávány menší povodně s kulminačním průtokem do dvouleté vody a jejich četnost je také nižší než v době povodňového neklidu.



Obr. 5.8 Součtové čáry výskytu povodní na vybraných stanicích v povodí Opavy v období 1896-2007, ($I = 1.1$).

Zdroj dat: Kříž et al. [1964], ČHMÚ.

5.4 Synoptické příčiny vzniku povodní

Pro pochopení příčin vzniku povodní je důležité identifikovat určité typy cirkulačních mechanismů v atmosféře a s nimi spojené časové a prostorové rozložení srážek a další meteorologické prvky ve fyzikogeografických podmínkách povodí Opavy, které vedou k vytvoření povodňových průtoků. V tomto tzv. hydrosynoptikém kontinuu [Čekal, 2005] platí určitá vazba mezi dynamikou příčinných cirkulačních podmínek

v atmosféře ovlivňující zpravidla počasí nad poměrně rozsáhlým územím (makro-měřítko), dále mezi způsobenými srážkami a vyvolanou odtokovou odezvou zpravidla regionálně omezenou jen na jeho dílčí povodí (mezo-měřítko). Jedny z podstatných faktorů ovlivňující tyto vztahy jsou fyzickogeografické podmínky jednotlivých dílčích povodí, které působí na srážkovou činnost v přízemní vrstvě atmosféry (např. orografický efekt) a podílejí se také na transformaci srážek a formování povodňových průtoků [Vlasák, 2008]. Nalezené vztahy mezi cirkulačními podmínkami a vzniklou odtokovou odezvou mohou být aplikovány v tzv. hydrosynoptických předpovědích, které výrazně prodlužují předstih vydávaných varování.

Hodnocení synoptických příčin vzniku povodní bylo provedeno pomocí typů povětrnostních situací [Brádka et al., 1961] a drah pohybu středů tlakových cyklon (*Denní přehledy počasí*). Tyto metody jsou již použity v mnohých pracích při analýze příčin povodní např. Čekalem [2005], Vlasákem [2008].

5.4.1 Metodika vymezení příčinné povětrnostní situace

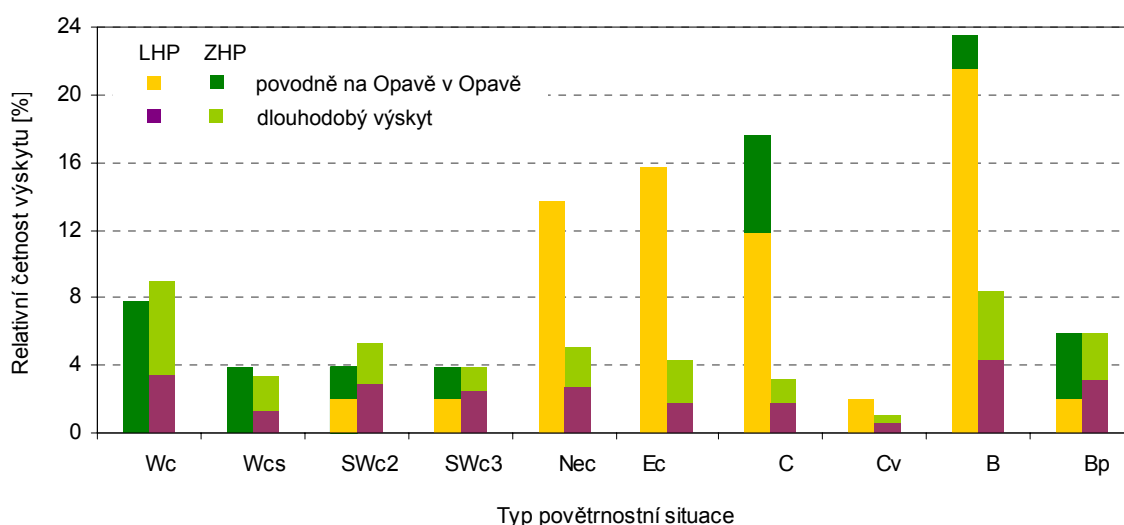
K popisu základních meteorologických podmínek v atmosféře byl použit Katalog povětrnostních situací [Brádka et al., 1961] (více kapitola 4.5), který je k dispozici na internetových stránkách ČHMÚ [www.chmi.cz]. Každé povodňové situaci od roku 1960 byl přiřazen příslušný typ povětrnostní situace podle Katalogu ve dnech D-9 až D+2 (viz kapitolu 4). Příčinná povětrnostní situace byla v každé takové posloupnosti definována jako situace, která byla hlavním impulsem a vedla ke vzniku povodní v povodí Opavy.

Typ příčinné povětrnostní situace byl určován především na základě srážek, které se vyskytly v čase před kulminací. Ve většině případů celkový objem srážek spadl mezi dny D-3 až DD, kdy se také vyskytoval příčinný typ povětrnostní situace. Některé povodně byly vyvolány pouze jedním typem meteorologické cirkulace, ale u většiny epizod docházelo v předkulminační fázi k přestavbě z původní synoptické situace na jinou. Za těchto podmínek byl vybrán jako příčinný ten typ, při kterém byly dosaženy nejvyšší srážkové úhrny. Přitom je jasné, že povodňovou událost nemusí vyvolat právě jen jediný vybraný příčinný typ, ale sled za sebou jdoucích jednotlivých situací. Například, pokud došlo k tomu, že v pořadí první typ povětrnostní situace vedl k vypadávání srážek a k následnému nasycení povodí, po přestavbě jiný nový typ, při kterém opět docházelo k vypadávání ač třeba menších srážek než u prvního typu, došlo ke vzniku povodňové vlny. V takovém případě byl jako příčinný typ povodně vybrán ten typ, který se vyskytl blíže ke dni s kulminačním průtokem resp. v intervalu D-3 až DD. Taková situace nastala

např. u povodňové epizody z července 2001. Přehled povětrnostních situací u jednotlivých povodní přesahující hodnotu jednoletého průtoku v Opavě v období 1960-2007 je uveden v Příloze I.

5.4.2 Frekvenční analýza výskytu povětrnostních typů

Četnost výskytu příčinných povětrnostních situací, které vedou ke vzniku povodňových průtoků v povodí Opavy se výrazně liší v rámci letního a zimního pololetí. V letním hydrologickém půlroce povodně nejčastěji vznikají při cyklonálních situacích (NEc, Ec a C) a brázdě nízkého tlaku nad střední Evropou (B). Představují přibližně 60 % všech analyzovaných případů v povodí Opavy, u letních povodní je tento podíl ještě vyšší, přibližně 93 %. K tomuto závěru dospěl i *Brádka [1967]*, když tyto synoptické situace identifikoval jako hlavní příčinu vzniku povodní ve Slezsku. Upozornil však na skutečnost, že se tyto cirkulační typy vyskytují mnohem častěji než je počet dní s povodňovými událostmi. Přesto pravděpodobnost výskytu těchto povětrnostních typů je během povodňových epizod mnohem vyšší než by jim příslušelo podle pravděpodobnosti vyplývající z dlouhodobého výskytu nepodmíněného vznikem povodní (Obr. 5.9).



Obr. 5.9 Relativní četnost výskytu typu povětrnostní situace a příčinného typu během povodní na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

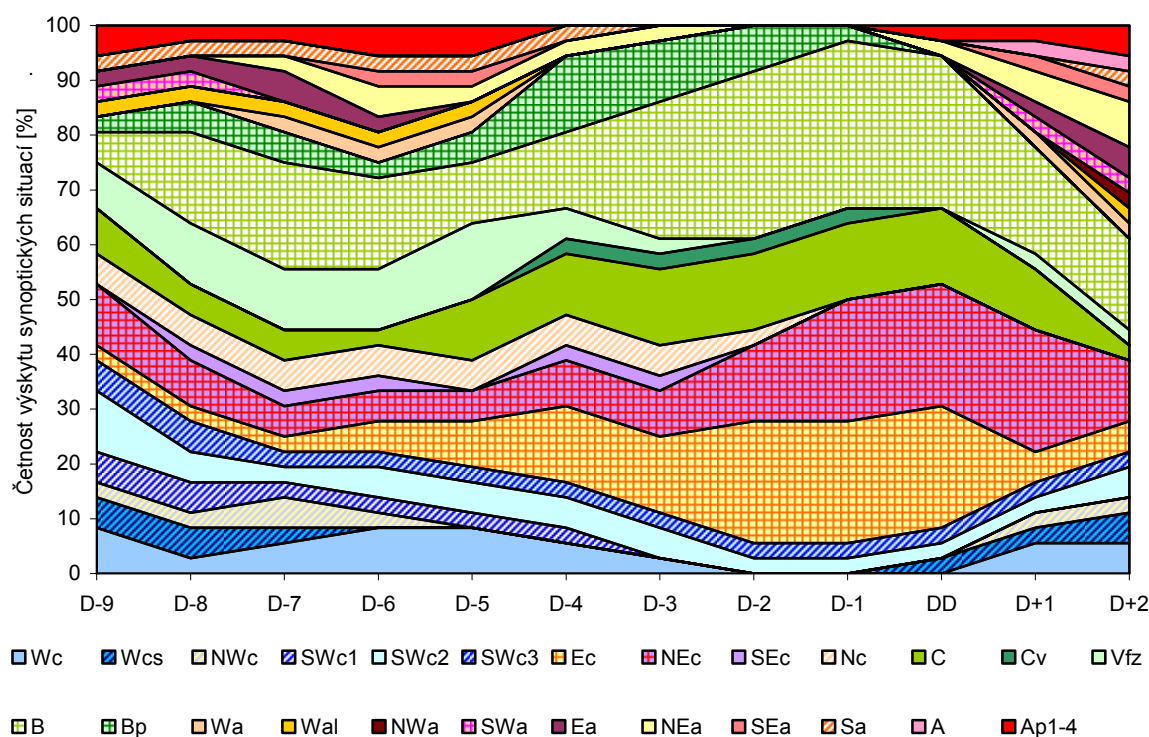
Zdroj dat: ČHMÚ.

Naproti tomu v chladném období jsou povodně vyvolávány cirkulačními typy s jižní složkou proudění (C, Bp) a západními cyklonálními situacemi (Wc, Wcs a SWc_{2,3}) přinášející často do střední Evropy oteplení a srážky v podobě deště.

Synoptické situace, které vedou ke vzniku povodňových situací v povodí Opavy patří v porovnání s ostatními povětrnostními situacemi ke srážkově nejvydatnějším

[Křivancová, Vavruška, 1997]. Při nástupu cirkulací se severovýchodní až východní složkou proudění (NEc, Ec a C) se v letním půlroce projevuje výrazně návětrný efekt zesilování srážek na úpatí Hrubého Jeseníku a naměřené srážky jsou zpravidla v této oblasti nejsilnější. V zimním období se tyto povětrnostní situace NEc a Ec na vzniku povodní nepodílejí, protože v tuto roční dobu při jejich výskytu vypadávají srážky ve formě sněhu.

Pozoruhodný je také relativně malý podíl západních cyklonálních situací Wc na vzniku zimních povodní v povodí Opavy, ačkoliv se jedná o povětrnostní typ s relativně vysokým zastoupením v průběhu roku (Obr. 5.9). Důvodem je skutečnost, že při západním proudění vzduchu leží povodí Opavy v závětrí Hrubého Jeseníku, srážky zde nedosahují vysokých úhrnů a oblevy tak probíhají především při slabých dešťových srážkách, což je i jedním z hlavních důvodů malého počtu zimních povodní v povodí Opavy, jak již bylo vzpomenu v kapitole 5.3.2.

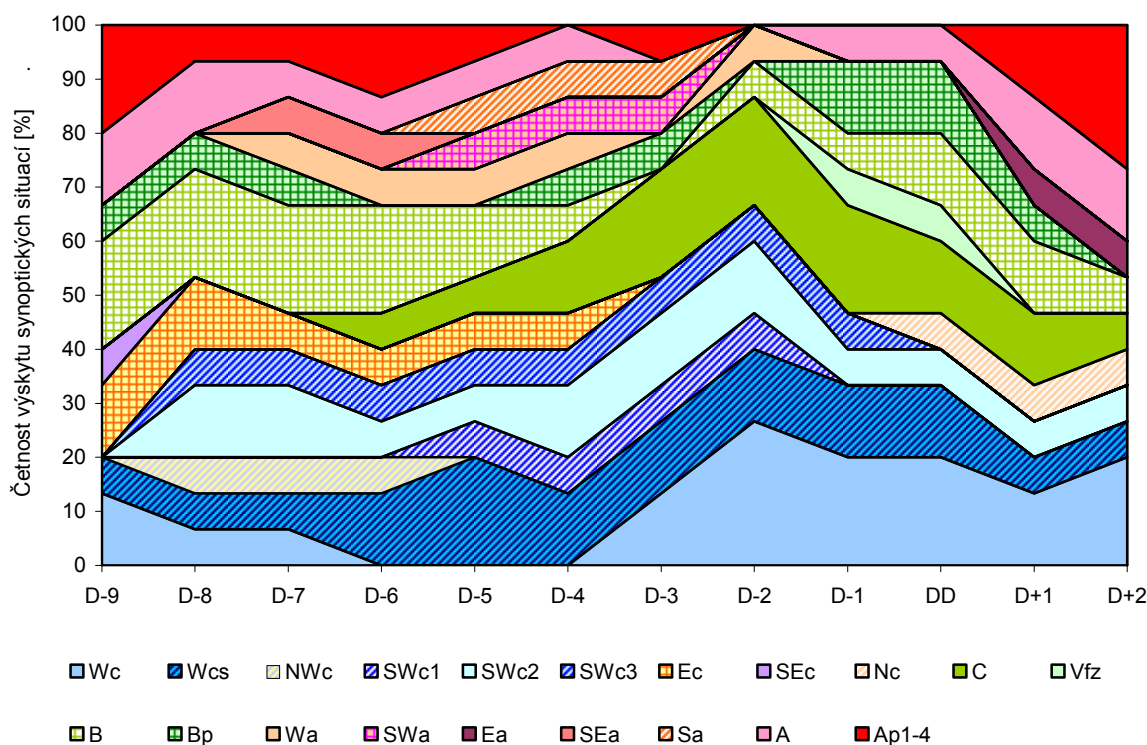


Obr. 5.10 Relativní četnost výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+2 během povodní na Opavě v LHP v období 1960-2007.

Zdroj dat: ČHMÚ.

V zimním půlroce byla pozorována větší heterogenita příčinných povětrnostních situací než u povodní vyskytujících se v letním půlroce (Obr. 5.10 a 5.11). Z celkového počtu 15 zimních povodní bylo analyzováno osm příčinných typů. Zatímco v letním půlroce bylo pozorováno 30 povodní, které byly vyvolány rovněž osmi příčinnými typy.

Toto relativně větší spektrum příčinných povětrnostních typů v zimním období může souviset s tím, že celkový počet zimních povodní (15 případů) je menší než u letních (30 povodňových epizod). Pokud by se vyskytly další zimní povodně, tak je dosti pravděpodobné, že by u nich byla pozorována již zjištěná příčinná situace a počet příčinných typů by byl zachován. Přesto hlavním důvodem je zřejmě skutečnost, že na vzniku zimních povodní se podílí více příčinných faktorů (vodní hodnota sněhu, výšce sněhové pokrývky, kladné teploty vzduchu a dešťové srážky, promrznutí a nasycenosti půdy). Na rozdíl od toho, povodně v letních měsících vznikají především vypadáváním silných srážek frontálního nebo cyklonálního původu, tj. jsou způsobovány ponejvíce spektrem typů synoptických situací s větší četností výskytu, při čemž k tomu může výrazně přispívat ještě i stav nasycenosti povodí.



Obr. 5.11 Relativní četnost výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+2 během povodní na Opavě v Opavě v ZHP v období 1960-2007.

Zdroj dat: ČHMÚ.

U většiny povodňových epizod dochází alespoň k jedné přestavbě synoptických situací na nový následný typ (Obr. 5.10 a 5.11). Pouze u cca 20 % povodní se během předkulminační fáze (D-9 až DD) uplatňují ty samé atmosférické řídicí útvary. V zimním půlroce za potenciálně nebezpečné přestavby lze považovat vývoj západních cyklonálních

typů (W_c , W_{cs} a $SW_{c2,3}$) z anticyklonálních situací, kdy před vypadáváním dešťových srážek byly často vyšší teploty vzduchu, které mohly být prvním impulzem tání sněhové pokrývky. V letním období se jedná především o přestavbu západních cyklonálních situací (W_c , W_{cs} a $SW_{c1,2,3}$ - 35 % případů) do synoptických typů NEc, Ec, C a B. Případně větší zastoupení má i přestavba brázdy nízkého tlaku (B - 20 % případů) do příčinných povětrnostních typů NEc, Ec a C (Obr. 5.10 a 5.11). Přestavba potenciálně srážkově vydatných na nové, má za následek, že příčinné srážky vypadávají do již nasyceného povodí a jsou potenciálně nebezpečnější ke vzniku povodňové situace.

5.4.3 Genetický kód hydrosynoptického vývoje povodní

Vznik synoptických situací je doprovázen jistými fyzikální symptomy, které časově předcházejí vyvolanou povodeň. Pro zkvalitnění předpovědí je nutné pokusit se identifikovat nástup těchto náznaků, které předurčují pravděpodobnost vzniku povodňového nebezpečí z určitou dobu dopředu. Jedním z možných přínosů pro tento účel je sestavení genetického kódu vývoje povětrnostních situací v období povodně.

Genetický kód je založen na předpokladu, že vliv kauzality synoptických situací na realizaci odtokové odezvy musí postupně přibývat a naopak neurčitost ve změnách atmosférických procesů, dané počtem možných kombinací jejich vyskytujících se typů, zase ubývat [Čekal, 2005]. To znamená, že den, kdy je variabilita možných typů povětrnostní situace nejmenší, lze považovat za limit časového předstihu a tyto situace označit za příčinné.

Genetický kód hydrosynoptického vývoje povodní za období 1960-2007 (Tab. 5.2 a 5.3) ukazuje zmenšující se variabilitu výskytu povětrnostních situací v předkulminační fázi směrem ke kulminaci. Spektrum výskytu v předstihu dní D-6 a D-7 před povodní je výrazně pestřejší než u dne D-1, kde se již zřetelně prosazují dominantní příčinné typy a jejich variabilita je v tomto pořadí dnů před kulminací nejnižší.

Na základě genetického kódu (Tab. 5.2 a 5.3) bylo pro letní období vymezeno devět typů povětrnostních situací, které se nejvíce podílejí na vzniku povodňových epizod. Na vznik zimních povodní s největší pravděpodobností má vliv osm synoptických situací. Takto určené příčinné typy odpovídají příčinným typům, které byly definovány pomocí největšího objemu srážek (více kapitola 5.4.1).

Tab. 5.2 Typy povětrnostních situací a jejich počet při letních povodních za období 1960-2007.

Počet druhů	Typy a četnosti výskytu povětrnostních situací ve dnech																							
	D-9		D-8		D-7		D-6		D-5		D-4		D-3		D-2		D-1		DD		D+1		D+2	
1	Wc	3	Wc	1	Wc	2	Wc	3	Wc	3	Wc	2	Wc	1	SWc2	1	SWc2	1	Wcs	1	Wc	2	Wc	2
2	Wcs	2	Wcs	2	Wcs	1	NWc	1	NWc	1	SWc1	1	SWc2	2	SWc3	1	SWc3	1	SWc2	1	Wcs	1	Wcs	2
3	NWc	1	NWc	1	NWc	2	SWc1	1	SWc1	1	SWc2	2	SWc3	1	Ec	8	Ec	8	SWc3	1	NWc	1	NWc	1
4	SWc1	2	SWc1	2	SWc1	1	SWc2	2	SWc2	2	SWc3	1	Ec	5	NEc	5	NEc	8	Ec	8	SWc2	1	SWc2	2
5	SWc2	4	SWc2	2	SWc2	1	SWc3	1	SWc3	1	Ec	5	NEc	3	Nc	1	C	5	NEc	8	SWc3	1	SWc3	1
6	SWc3	2	SWc3	2	SWc3	1	Ec	2	Ec	3	NEc	3	SEc	1	C	5	Cv	1	C	5	Ec	2	Ec	2
7	Ec	1	Ec	1	Ec	1	NEc	2	NEc	2	SEc	1	Nc	2	Cv	1	B	11	B	10	NEc	8	NEc	4
8	NEc	4	NEc	3	NEc	2	SEc	1	Nc	2	Nc	2	C	5	B	11	Bp	1	NEa	1	C	4	C	1
9	Nc	2	SEc	1	SEc	1	Nc	2	C	4	C	4	Cv	1	Bp	3			Ap1	1	Vfz	1	Vfz	1
10	C	3	Nc	2	Nc	2	C	1	Vfz	5	Cv	1	Vfz	1							B	7	B	6
11	Vfz	3	C	2	C	2	Vfz	4	B	4	Vfz	2	B	9							Wa	1	Wa	1
12	B	2	Vfz	4	Vfz	4	B	6	Bp	2	B	5	Bp	4							SWa	1	Wal	1
13	Bp	1	B	6	B	7	Bp	1	Wa	1	Bp	5	NEa	1							Ea	1	NWa	1
14	Wal	1	Bp	2	Bp	2	Wa	1	Wal	1	NEa	1									NEa	2	SWa	1
15	SWa	1	Wal	1	Wa	1	Wal	1	NEa	1	Sa	1									SEa	1	Ea	2
16	Ea	1	SWa	1	Wal	1	Ea	1	SEa	1											A	1	NEa	3
17	Sa	1	Ea	1	Ea	2	NEa	2	Sa	1											Ap2	1	SEa	1
18	Ap2	2	Sa	1	NEa	1	SEa	1	Ap1	1													Sa	1
19			Ap1	1	Sa	1	Sa	1															A	1
20					Ap2	1	Ap1	1															Ap2	2
21							Ap3	1																

Zdroj dat: ČHMÚ.

Tab. 5.3 Typy povětrnostních situací a jejich počet při zimních povodních za období 1960-2007.

Počet druhů	Typy a četnosti výskytu povětrnostních situací ve dnech																							
	D-9		D-8		D-7		D-6		D-5		D-4		D-3		D-2		D-1		DD		D+1		D+2	
1	Wc	2	Wc	1	Wc	1	Wcs	2	Wcs	3	Wcs	2	Wc	2	Wc	3	Wc	4	Wc	2	Wc	2	Wc	3
2	Wcs	1	Wcs	1	Wcs	1	NWc	1	SWc ₁	1	SWc ₁	1	Wcs	2	Wcs	2	Wcs	2	Wcs	3	Wcs	1	Wcs	1
3	Ec	2	NWc	1	NWc	1	SWc ₂	2	SWc ₂	1	SWc ₂	2	SWc ₁	1	SWc ₁	1	SWc ₂	1	SWc ₂	1	SWc ₂	1	SWc ₂	1
4	SEc	1	SWc ₂	2	SWc ₂	2	SWc ₃	1	SWc ₃	1	SWc ₃	1	SWc ₂	2	SWc ₂	2	SWc ₃	1	Nc	1	Nc	1	Nc	1
5	B	3	SWc ₃	1	SWc ₃	1	Ec	1	Ec	1	Ec	1	SWc ₃	1	SWc ₃	1	C	3	C	2	C	2	C	1
6	Bp	1	Ec	2	Ec	1	C	1	C	1	C	2	C	3	C	3	B	1	Vfz	1	B	2	Vfz	1
7	A	2	B	3	B	3	B	2	B	2	B	1	Bp	1	B	1	Bp	2	B	2	Bp	1	B	1
8	Ap2	2	Bp	1	Bp	1	Wa	1	Wa	1	Bp	1	SWa	1	Wa	1	A	1	Bp	2	Ea	1	Ea	1
9	Ap3	1	A	2	Wa	1	SEa	1	SWa	1	Wa	1	Sa	1	SWa	1			A	1	A	2	A	2
10			Ap2	1	SEa	1	A	1	Sa	1	SWa	1	Ap2	1							Ap2	1	Ap1	1
11					A	1	Ap2	1	A	1	Sa	1									Ap4	1	Ap2	2
12					Ap2	1	Ap3	1	Ap3	1	A	1											Ap4	1

Zdroj dat: ČHMÚ.

Tab. 5.4 Přehled typů povětrnostních situací podle klasifikace ČHMÚ.

cyklonální situace	se západní složkou proudění	Wc	Wcs	NWc	SWc ₁	SWc ₂	SWc ₃
	s východní složkou proudění	Ec	NEc	SEc			
	se severní složkou proudění	Nc					
		C	Cv				
vchod frontální zóny		Vfz					
brázda		B	Bp				
anticyklonální situace	se západní složkou proudění	Wa	Wal	NWa	SWa		
	s východní složkou proudění	Ea	NEa	SEa			
	s jižní složkou proudění	Sa					
		A	Ap ₁	Ap ₂	Ap ₃		

Zdroj: Brádka et al. [1961], ČHMÚ.

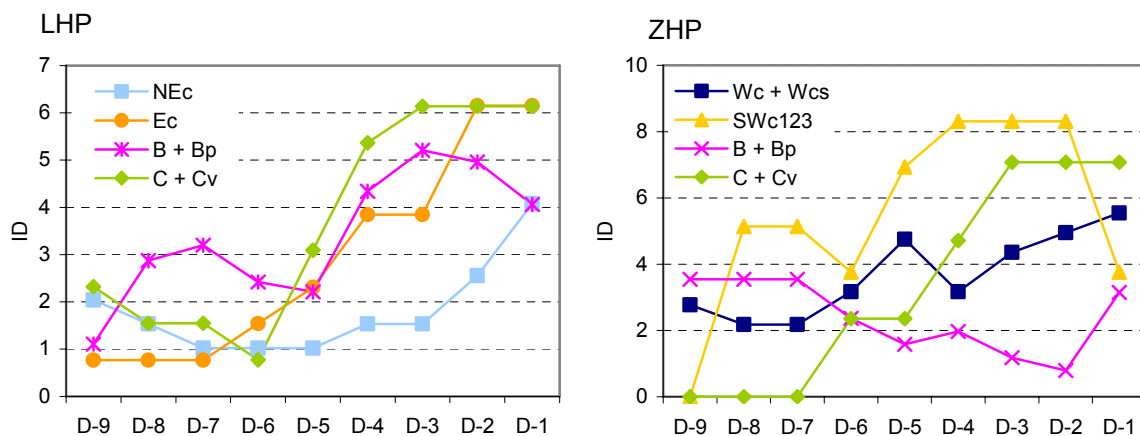
5.4.4 Časový předstih příčinných povětrnostních situací

Další metodou umožňující vymezení reálného limitu časového předstihu, kterého je možné v daném povodí dosáhnout, je tzv. povodňový index neboli povodňová účinnost. Tuto metodu navrhla skupina odborníků *Duckstein, Bardossy, Bogárdi [1992]* a ve své práci ji použili např. *Huth, Buchtele [2003]*. Povodňový index (ID) je definován jako:

$$ID(j) = \frac{n_1(i)}{n_2(i)} \quad (5.4)$$

kde $n_1(i)$ je podíl četnosti výskytu daného povětrnostního typu v jednotlivých dnech v předkulminační fázi povodňové epizody na celkovém počtu povodní
 $n_2(i)$ je podíl četnosti výskytu stejného typu nepodmíněně na výskytu povodně za celé referenční období ku celkovému počtu dní v referenční období.

Povodňový index ID byl určen pro každý hydrologický půlrok zvlášť a vždy pro dny D-9 až D-1. Ukazuje jak silný je vztah mezi danou synoptickou situací a následnou povodní. Hodnoty indexu ID větší než jedna označují větší četnost příčinných povětrnostních situací, než by odpovídalo jejich nepodmíněné četnosti na výskytu povodní. Naopak maximální hodnota ID určuje hledaný časový předstih mezi příčinou povětrnostní situací a následnou povodní. Do grafů (Obr. 5.12) byly vybrány pouze situace, které nejvíce přispívají ke vzniku povodní. Zbýlé situace a jejich hodnoty indexu ID jsou uvedeny v Příloze II a III.



Obr. 5.12 Průběh povodňového indexu ID pro příčinné synoptické situace, které nejvíce přispívají ke vzniku povodní v letním a zimním půlroce na Opavě v období 1960-2007.

Zdroj dat: ČHMÚ.

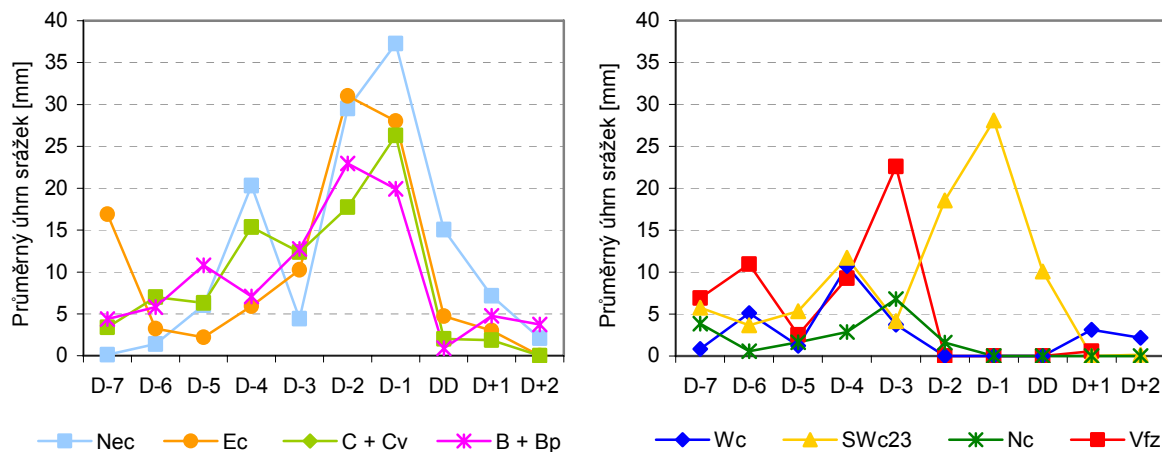
Z grafů (Obr. 5.12) je patrné, že u povodní v letním půlroce se časový předstih příčinné povětrnostní situace pohybuje okolo jednoho až dvou dnů před vznikem povodně.

Pro zimní povodně je ideální doba předstihu okolo jednoho až tří dnů, podle typu příčinné synoptické situace. Velmi podobné výsledky byly dosaženy i pomocí genetického kódu (Tab. 5.2 a 5.3), kdy nejnižší variabilita výskytu možných příčinných povětrnostních typů byla u letních a zimních povodní v den D-1.

5.4.5 Porovnání příčinných povětrnostních situací

Souvislosti mezi příčinnými povětrnostními situacemi, časovým a prostorovým rozdělením srážek a v zimním období teplotou vzduchu a úbytkem sněhové pokrývky naznačují na nebezpečnost jednotlivých povětrnostních podmínek při vzniku povodně. Proto je třeba vztahy mezi všemi jednotlivými faktory tohoto procesu analyzovat. Předem je však třeba vzít na vědomí, že poměrně malý počet disponibilních případů, u přiřazených typů meteorologických situací, dává dosaženým závěrům charakter spíše jen orientační. A tím nelze také vyvrátit, že daná situace může být náchylná na vznik povodní i při působení jiných meteorologických podmínek než za těch, kterých se vyskytla v minulosti. Rovněž tak, průměrné hodnoty nelze brát jako trvale platné.

Do grafů pro analýzu vztahů (Obr. 5.13, 5.14 a 5.15) byly vybrány pouze situace, které mají největší vliv na vznik povodní v daném hydrologickém půlroce. Celkový přehled povětrnostních typů s jejich průměrnými srážkovými hodnotami je uveden v Příloze IV a V.

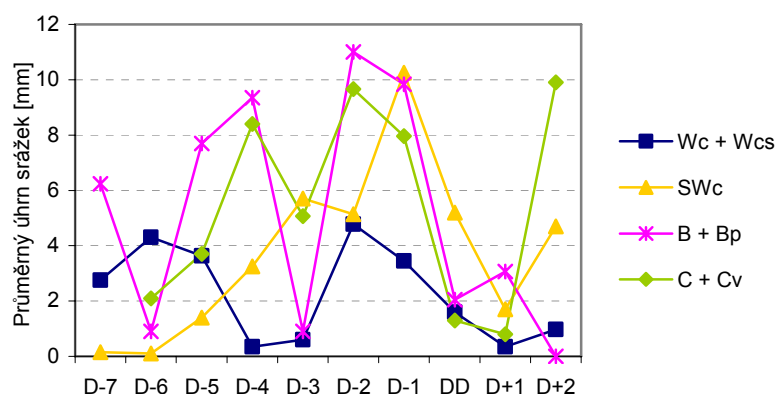


Obr. 5.13 Průměrné denní úhrny srážek v předkulminační fázi povodní při daných příčinných povětrnostních situacích v LHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Zdroj: ČHMÚ.

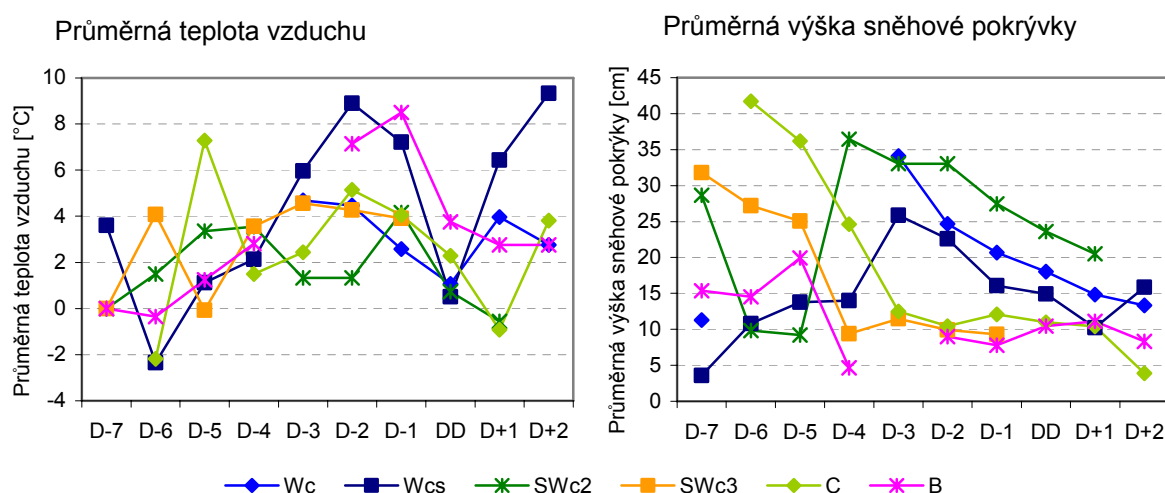
V letních měsících jsou vydatné srážky spojovány především s cyklonálními situacemi typu NEc, Ec, C a B a proto při těchto situacích dochází i k poměrně velkým kulminačním průtokům. Nejvyšší srážky jsou dosahovány ve dnech D-2 až D-1 v průměru 20-40 mm podle typu synoptické situace. Pozoruhodné jsou i vyšší úhrny srážek u situací

typu SWc_{2,3} (v den D-4) a Vfz (v den D-6 a D-3). Výskyt těchto srážek v předkulminační fázi během dní D-7 až D-3 může způsobit významné nasycení půdního profilu. Po následné přestavbě povětrnostního typu na jiný nový typ, další srážky vypadávají na již nasycené povodí, což přispívá ke vzniku povodňové události.



Obr. 5.14 Průměrné denní úhrny srážek v předkulminační fázi povodní při daných příčinných povětrnostních situacích v ZHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007.
Zdroj: ČHMÚ.

V zimním období je vznik povodňových situací nejčastěji vázán na západní proudění spojené s výskytem povětrnostních situací typu Wc, Wcs a SWc_{1,2,3}. Při tomto proudění vzduchu z oblasti Atlantiku nad naše území, leží povodí Opavy ve srážkovém stínu Hrubého Jeseníku a srážky obvykle nedosahují vysokých hodnot (Obr. 5.14), z čehož vyplývá, že na vzniku povodní v zimních měsících se podílejí i jiné příčiny (Obr. 5.15).



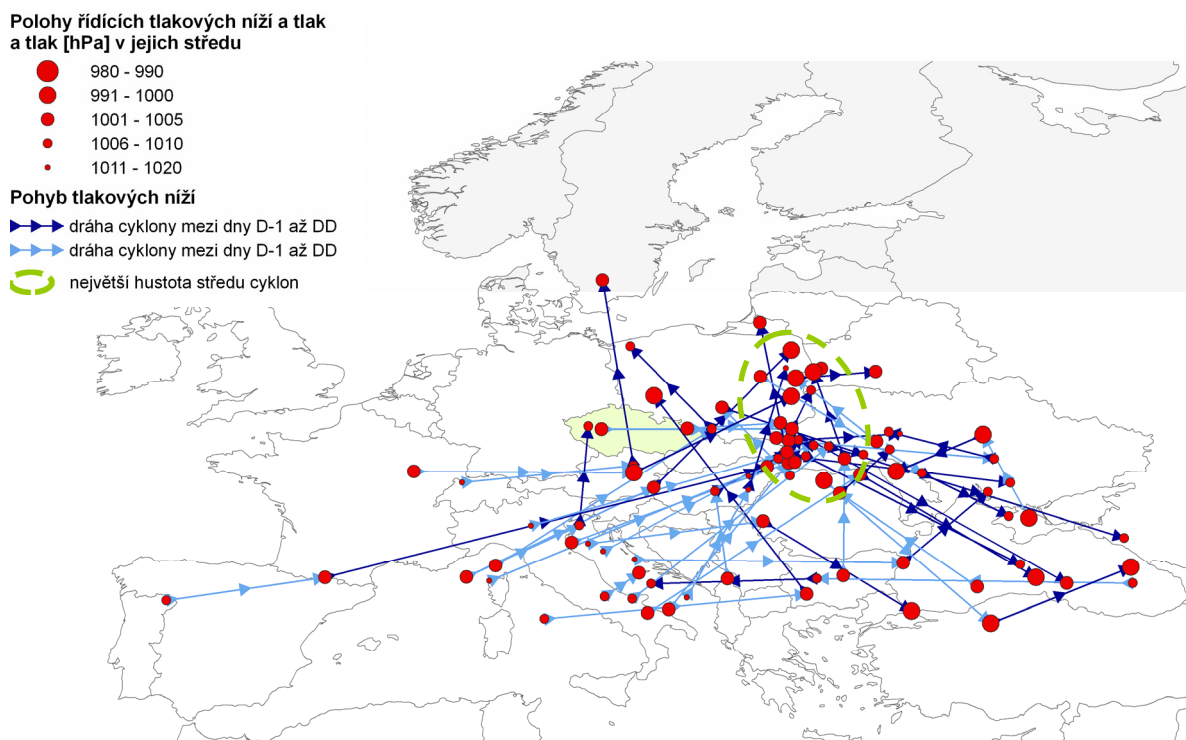
Obr. 5.15 Průměrná teplota vzduchu a výška sněhové pokrývky v předkulminační fázi povodní při daných příčinných povětrnostních situacích v ZHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007.
Zdroj dat: ČHMÚ.

Povodně v této části roku však nedosahují velké extremity. Vyšší srážkové úhrny jsou pozorovány u povětrnostního typu C a B (jedná se především o povodně v dubnu a jedinou pozorovanou povodeň v listopadu). V důsledku poměrně malého analyzovaných případů nelze zatím formulovat další objektivní a obecně platné závěry.

Nejvyšší průměrné teploty jsou dosahovány dva dny před kulminací a přispívají k tání sněhové pokrývky. K největšímu úbytku sněhu dochází během dnů D-5 až D-2. U povětrnostní situace typu B je během celé předkulminační fáze výška sněhové pokrývky relativně nízká.

5.4.6 Dráhy řídicích tlakových útvarů

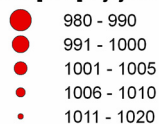
Pro analyzované povodně byly vyšetřeny dráhy a polohy řídicích cyklon, které měly rozhodující vliv na utváření počasí v celé střední Evropě. K jejich vykreslení byly použity mapy přízemního tlakového pole publikované v periodických bulletinech *Denní přehled počasí* a z internetových stránek *Wetterspiegel*. Dráhy řídicích cyklon byly znázorněny na mapě Evropy pro dny D-2 až DD.



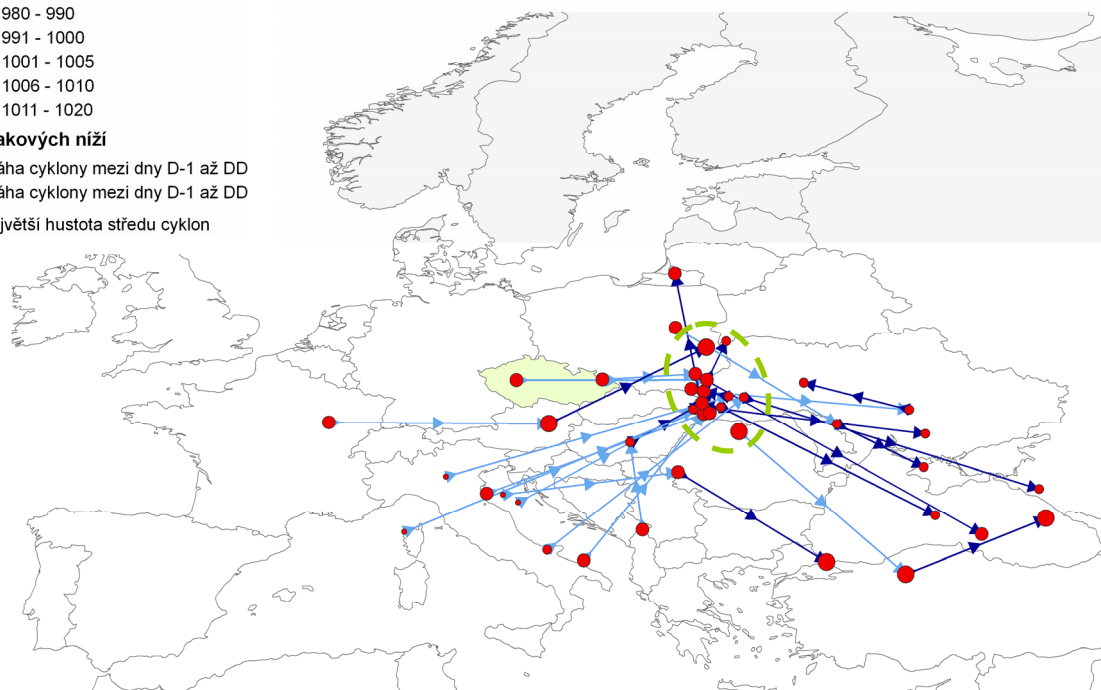
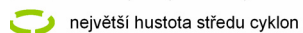
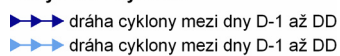
Obr. 5.16 Poloha a trajektorie středů řídicích tlakových níží před povodněmi v LHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Zdroj dat: ČHMÚ, DWD.

Polohy řídicích tlakových níží a tlak [hPa] v jejich středu



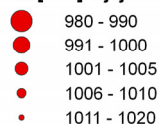
Pohyb tlakových níží



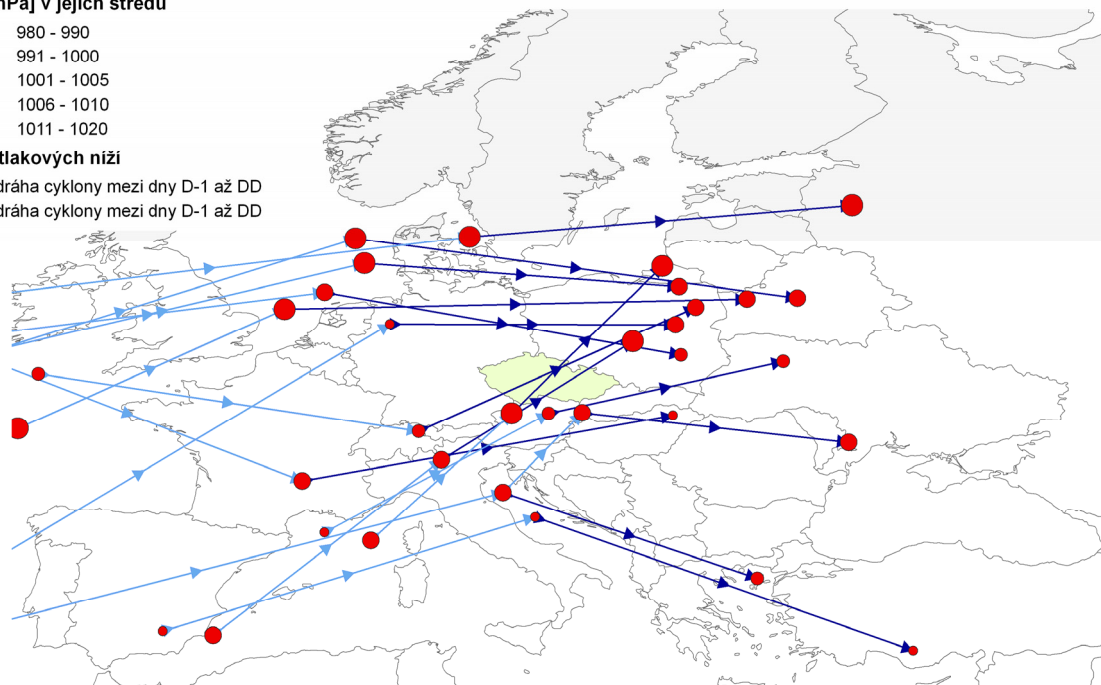
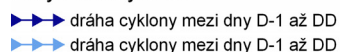
Obr. 5.17 Poloha a trajektorie středů řídicích tlakových níží před povodněmi s kulminačním průtokem nad 2letou vodu (Q_2) v LHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Zdroj dat: ČHMÚ, DWD.

Polohy řídicích tlakových níží a tlak [hPa] v jejich středu



Pohyb tlakových níží



Obr. 5.18 Poloha a trajektorie středů řídicích tlakových níží před povodněmi s kulminačním průtokem v ZHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Zdroj dat: ČHMÚ, DWD.

Trajektorie středů řídicích tlakových níží před povodněmi jsou zachyceny na Obr. 5.16, 5.17 a 5.18. V tomto zobrazení cyklonálních drah jsou zřejmé podstatné rozdíly v pohybu cyklon souvisejících se vznikem povodní v letním a zimním půlroce.

Řídící cyklony, které předcházely povodním v letním období, jsou mělké a jejich poloha ve dnech, kdy došlo k vypadávání srážek, bylo v předkulminační fázi situováno blíže České Republice.

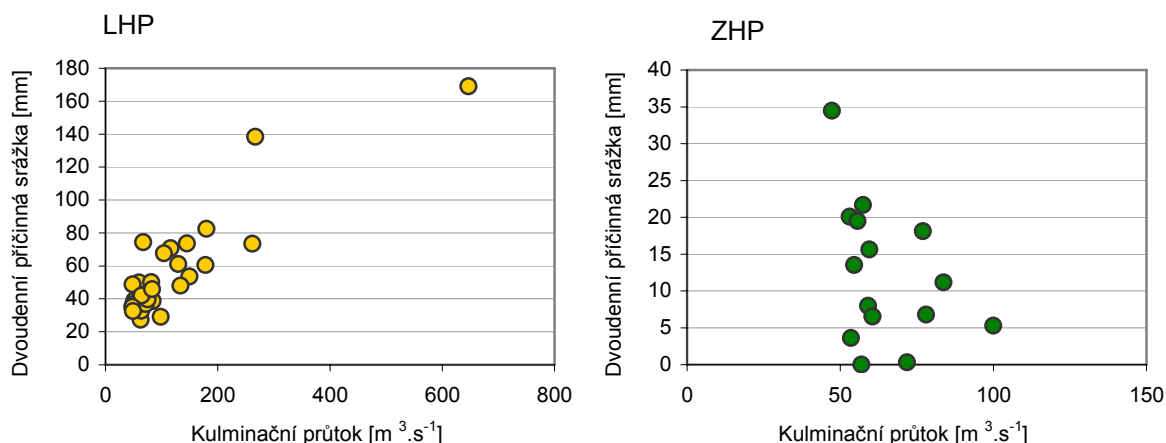
Vznik velkých letních povodní v povodí Opavy byl spojen s postupem středomořských cyklon směrem k severovýchodu. Při těchto trajektoriích leží povodí Opavy na týlové (studené) straně cyklony v pásu s maximálními srážkami, který se obvykle nachází ve vzdálenosti 200 až 300 km od cyklonální dráhy [Vavruška, 1989]. Řídící cyklony mají často střed v oblasti jižního Polska nebo východního Slovenska a odkud pak postupují dále na východ (jihovýchod). Při těchto podmínkách leží povodí Opavy v silném severovýchodní proudění, kdy dochází k významnému orografickému zesilování srážek.

Cyklonální útvary, které se vyskytly před zimními povodněmi v povodí Opavy, je možné rozdělit do dvou skupin (Obr. 5.18). Do první skupiny patří hluboké tlakové níže s rychlým pohybem od západu či jihozápadu k východu (severovýchodu). Trajektorie řídicích cyklon postupujících přes Velkou Británii dále na východ severně od naše území. Jižně od jich do střední Evropy přecházejí často zvlněné frontální systémy, které souvisejí se vznikem srážek. Do druhé skupiny lze zařadit tři povětrnostní situace typu C, kdy cyklony postupovaly do střední Evropy od jihu přibližně po dráze Vb.

5.5 Prostorové rozložení příčinných srážek

Prostorová proměnlivost srážek v povodí je výsledkem spolupůsobení specifického uspořádání reliéfu (např. orografické zesilování srážek na úpatí Hrubého Jeseníku) a cirkulačních podmínek v atmosféře. Lze tedy předpokládat, že rozložení příčinných srážek je závislé na proudění vzduchu spojeného s určitým typem povětrnostní situace. Předmětem tohoto zkoumání bylo proto zjistit, zda stejný typ povětrnostní situace může produkovat srážky se shodným a nebo s přibližně podobným charakteristickým rozložením v povodí a vést tak ke vzniku odpovídající odtokové odezvy.

Jak ukazuje Obr 5.19, regresní závislost kulminačního průtoku na dvoudenní příčinné srážce není příliš těsná, výrazná volnost je pozorována u zimních epizod, z čehož vyplývá, že pro tvorbu povodňové vlny jsou vedle množství srážek důležité i ostatní faktory jako jsou v zimním období např. výška sněhové pokrývky, nárůst teploty vzduchu, nasycenost povodí, intenzita srážek a právě i prostorové rozložení srážek v povodí.



Obr. 5.19 Vztah mezi dvoudenní příčinnou srážkou na povodí Opavy a kulminačním průtokem v Opavě v HLP a ZHP v období 1960-2007.

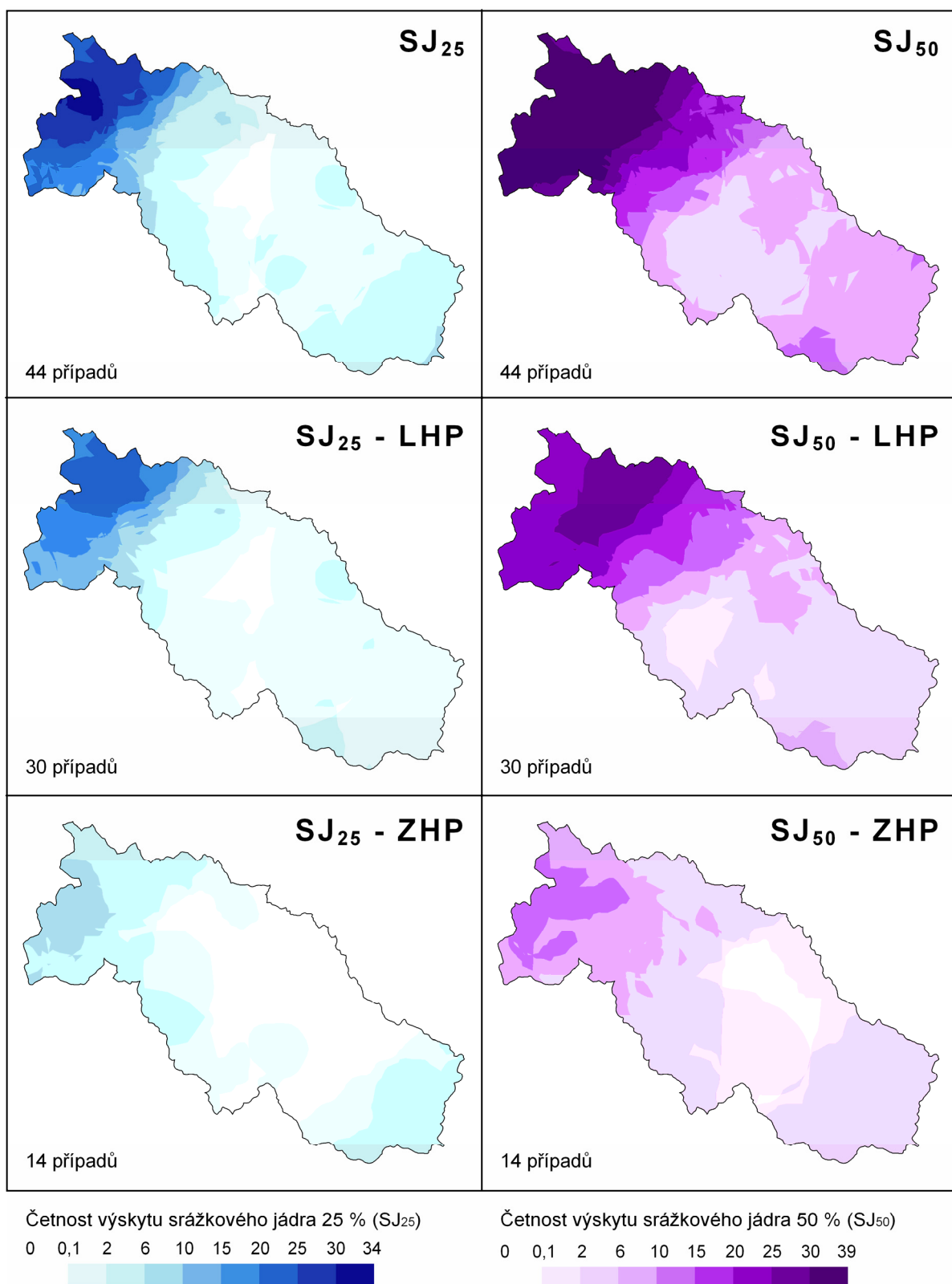
Zdroj dat: ČHMÚ.

Ke stanovení prostorového rozložení srážek v povodí bylo nejprve nutné určit příčinnou srážku. Ta byla definována jako maximální dvoudenní úhrn srážek vyskytující se během dní D-3 až DD. V tomto časovém intervalu u většiny analyzovaných povodňových případů spadl rozhodující objem srážek. Největší úhrny srážek vypadávaly zpravidla jeden nebo dva dny (D-1 a D-2) přede dnem kulminace. Jako další charakteristika rozložení srážek bylo pak plošně vymezena poloha srážkového jádra a to jako nejmenší možná územní oblast, na kterou se koncentrovalo 25 % a 50 % celkového objemu spadlých dvoudenních srážek. Postup vymezení jádra spadlých srážek popisuje ve své práci Vlasák [2008].

5.5.1 Srážkové jádro a jeho poloha v povodí

Prostorové rozložení jader příčinných srážek v povodí Opavy během povodňových událostí v období 1960-2007 je znázorněno na Obr. 5.20. K největší koncentraci srážkových jader dochází v horské oblasti Hrubého Jeseníku, která představuje z hlediska vzniku povodní zdroj největšího nebezpečí. Proto je v souvislosti s protipovodňovou ochranou důležitá kontrola objemu odtoku se spadlých srážek v horní části povodí a nutnost aplikace vhodných variant protipovodňových opatření k ochraně měst (Krnov, Opava) níže po toku.

U letních epizod je srážkové jádro více situováno na úpatí Hrubého Jeseníku (pramenné oblasti Opavice a Černé Opavy). V této části roku jsou silné deště nejčastěji spojovány s výskytem povětrnostních situací typu NEc, Ec, C a B (více kapitola 5.5.2), při kterých vlivem orografické členitosti terénu dochází k zesilování srážek, které přitom zde



Obr. 5.20 Průměrná poloha srážkového jádra (SJ) při povodních v povodí Opavy po profil Opava za LHP, ZHP a celé referenční období 1960-2007, (SJ₂₅ - 25 % koncentrace objemu spadlých srážek, SJ₅₀ - 50 % koncentrace objemu spadlých srážek).

Zdroj dat: ČHMÚ.

dosahují největší intenzity (Obr. 5.20). Výrazně odlišná je oblast ve střední části povodí Opavy, kde při analyzovaných povodňových situacích nedochází anebo jen v ojedinělých případech, k vypadávání hlavního objemu příčinných srážek.

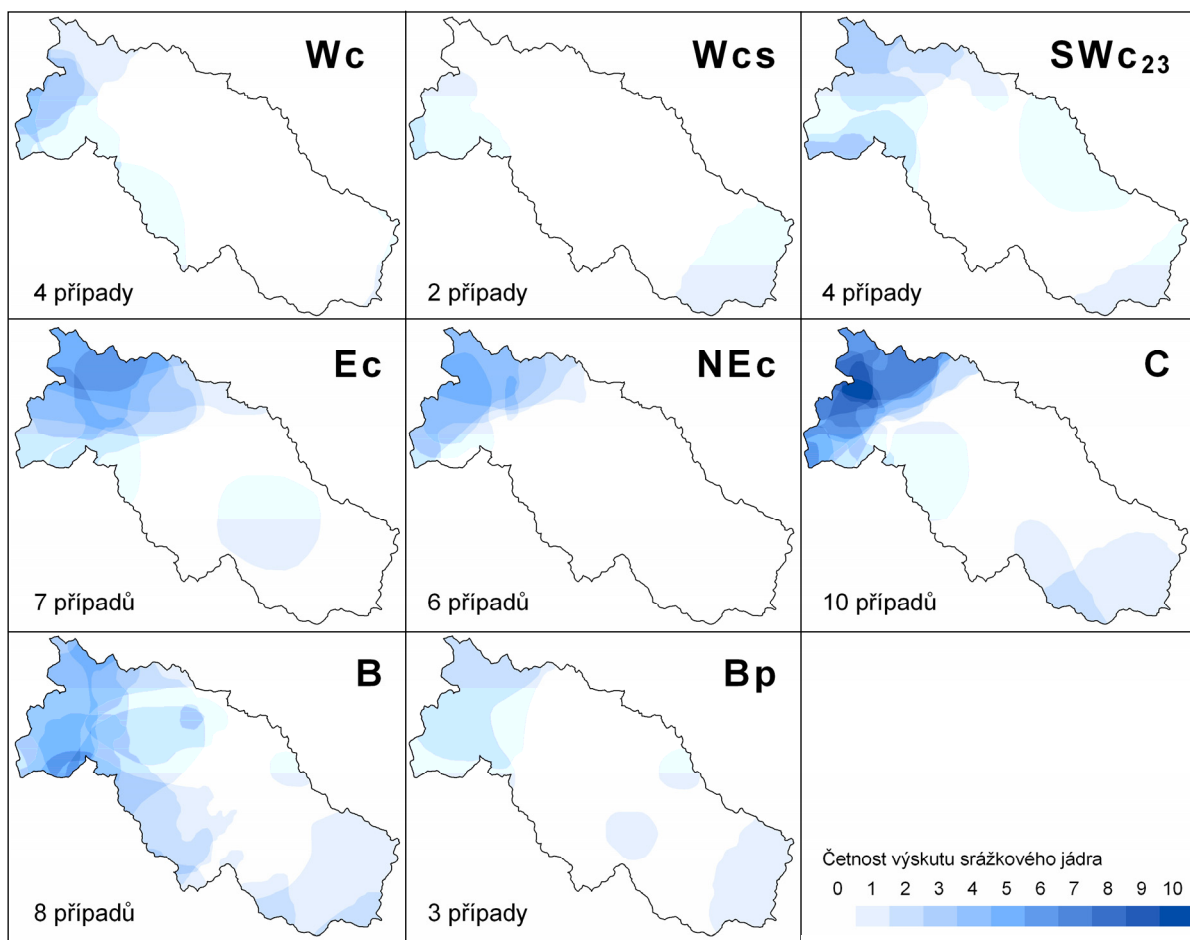
V zimním období je poloha srážkových jader více posunuta do vrcholové oblasti Hrubého Jeseníku a ve střední části povodí se výrazně projevuje srážkový stín Jeseníků (Obr. 5.20), v důsledku převládajícího západního proudění vzduchu. Poloha jader příčinných srážek obvykle signalizuje oblast s největším nebezpečím vzniku povodně, přesto však u zimních povodní, díky vlivu dalších faktorů jako je výška sněhové pokrývky a její vodní hodnota atd., tomu tak nemusí být. Příkladem je povodeň z února 1977, při které srážkové úhrny dosahovaly relativně vysokých hodnot na celém povodí, ale jejich hlavní objem vypadal v horské oblasti, kde v tuto dobu ještě ležela sněhová pokrývka. Ta zřejmě působila jako „sací houba“ a do doby nasycení její retenční kapacity zadržovala část vody ze spadlých srážek. Na Opavě a Opavici v Krnově nebyly v tomto případě pozorovány průtoky nad hodnotou jednoleté vody, zatímco v Opavě ano.

5.5.2 Vliv povětrnostních situací na tvorbu srážkového pole

Poloha jader příčinných srážek byla u analyzovaných povodní dána do souvislosti s příčinnými typy povětrnostních situací, které vedly k vypadávání srážek v povodí Opavy.

U většiny příčinných povětrnostních situací se koncentruje hlavní objem srážek do horské oblasti (Obr. 5.21). Větší nerovnoměrnosti v členitosti vyvolaného srážkového pole se projevují u brázdy nízkého tlaku (B). Poměrně velká rozmanitost v rozložení srážek ukazuje na větší podíl přívalových srážek z konvekční oblačnosti na vzniku povodní. Výskyt bouřek nejčastěji souvisí s postupem frontálního rozhraní od jihu přes naše území. Po přední straně této brázdy postupovala rychle přes střední Evropu studená fronta.

Naproti tomu u synoptických typů se severovýchodním až východním prouděním (NEc a Ec) a u cyklony nad střední Evropou (C) srážková jádra bývají poměrně malá a zhruba čtvrtina objemu příčinných srážek padá do oblasti Hrubého Jeseníku s mírným přesahem do pramenné části Opavice. Při těchto situacích se vytváří specifické návětrí, které se projevuje zesilováním srážek na úpatí Hrubého Jeseníku. U západních cyklonálních situací (Wc, Wcs a SWc_{2,3}), které vyvolávají především povodně v zimních měsících, nedochází k jednoznačné koncentraci srážkového jádra do určité části povodí.



Obr. 5.21 Poloha srážkových jader s koncentrací 25 % celkového objemu srážek u příčinných povětrnostních typů povodní v povodí Opavy v Opavě v období 1960 - 2007.

Zdroj dat: ČHMÚ.

6 ANALÝZA POVODŇOVÝCH VLN

V předchozí kapitole byla prokázána, závislost mezi příčinnou situací a srážkou, která následně ovlivňuje odtokovou odezvu v korytě toku. Proto při kategorizaci povodňových vln nebyl posuzován jen tvar povodňové vlny, ale při výběru vhodných parametrů byl kladen i důraz na příčinné symptomy. Cílem bylo nalézt analogy v povodňovém režimu a prozkoumat, zda předpoklad, že stejné příčiny v daném fyzickografickém prostředí vyvolají podobné následky platí i v povodí Opavy. Především šlo o to identifikovat nejnebezpečnější podmínky pro vznik povodní. Tyto poznatky jsou důležitým podkladem pro vytvoření vhodných protipovodňových opatření a pro zvyšování efektivnosti předpovědí povodňových událostí.

6.1 Použití metody statistické analýzy dat

K vytvoření vhodných kategorií povodňových situací byla vedle klasické korelační techniky z metod vícerozměrná statistické analýzy dat využita metoda shlukové analýzy. Jako další přístup byla zvolena analýza podobnosti povodňových případů podle *Vlasáka [2008]*.

6.1.1 Shluková analýza

Metodické shlukování umožňuje v rozsáhlých souborech dat nalézt jejich určité podobnosti ve vnitřní struktuře, na jejichž základě jsou data rozdělena do tzv. shluků (clusterů). Cílem metody je získat z množiny dat clustery tak, aby si objekty uvnitř clusterů byly mezi sebou co nejvíce podobné a naopak objekty patřící do různých shluků co nejvíce rozdílné [*Hendl, 2004*].

Metoda aglomerativního hierarchického shlukování je založena na postupném spojování jednotlivých menších shluků na základě předem definovaného způsobu hodnocení vztahů mezi nimi. Postupně dochází ke spojování nejbližších (nejpodobnějších) shluků do nového společného shluku vyššího hierarchického stupně. Podobnost prvků v clusteru se vyjadřuje mírou vazby. Výsledkem hierarchického shlukování je binární strom označovaný jako dendrogram. Každý uzel tohoto stromu představuje shluk. Vodorovný směr dendrogramu znázorňuje podobnost mezi clustery.

6.1.2 Analýza podobnosti povodňových případů

Metoda je založena na relativně jednoduchém porovnání parametrů, které charakterizují povodňovou událost. Index podobnosti (I_p) je vyjádřený pomocí vztahu [Vlasák, 2008]:

$$I_p = \left| \frac{(A - B)}{(A + B)/2} \right| \quad (6.1)$$

kde A a B jsou dané charakteristiky pro porovnávané povodně P_A a P_B .

Hodnoty indexu podobnosti se pohybují v rozmezí 0 (dva naprosto shodné prvky) a 2 (jeden prvek nabývá hodnoty 0 - odlišné prvky). Prvky, které se alespoň přibližně shodují lze považovat za analogy.

6.2 Výběr parametrů povodňového režimu

Důležitým krokem k vytvoření kategorií povodňových vln bylo určit z většího souboru subjektivně vybraných prvků ty parametry, které by nejlépe charakterizovaly výsledné skupiny povodní a které by bylo zároveň možné hodnotit statistickými metodami. Pomocí korelačních koeficientů a vícerozměrné analýzy shluků byla ověřena fyzikální podstata vztahů mezi jednotlivými proměnnými a vybrány jen ty, které je nejlépe reprezentují.

6.2.1 Výběr na základě korelační analýzy

K vyšetření síly vztahů mezi jednotlivými proměnnými parametry byl použit Pearsonův korelační koeficient. Korelační matice všech proměnných je zobrazena v Tab. 6.1 a 6.2. Pro jednodušší orientaci jsou vyznačeny hodnoty korelačních koeficientů na hladině významnosti 0,05 oranžově (slabá těsnost vazeb) a na hladině 0,01 červeně (těsnost vazeb s větší pravděpodobností).

6.2.2 Výběr na základě shlukové analýzy

Korelační metoda naznačila vztahy mezi jednotlivými parametry. Vedle toho mohou však existovat i vazby mezi skupinami. Pomocí analýzy hierarchického shlukování bylo proto s využitím různých metodických přístupů vytvořeno několik dendrogramů proměnných parametrů. Jako nejvhodnější postup se jevila metoda nejvzdálenějšího souseda [Hendl, 2004], počítaná podle podobnosti na základě Pearsonova korelačního koeficientu. Tento druh shlukové analýzy byl aplikován zvlášť pro parametry v zimním a letním hydrologickém půlroce.

Tab. 6.1 Korelační matice pro proměnné v zimním hydrologickém půlroce.

Proměnná		Q_k	SRA_2	$APIQ_0$	API	V	Q_0	SEZ	Tzv	C	S_{max}	$Vrch$	ΔT	$\Delta Snih$	PRS	SJ_{25}	ID	SS
Kulminační průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_k	1,00	-0,40	-0,45	-0,42	0,43	-0,37	-0,41	0,14	-0,14	-0,39	0,15	0,23	0,68	0,05	-0,10	-0,27	0,47
Dvoudenní příčinná srážka [mm]	SRA_2	-0,40	1,00	0,51	0,66	-0,24	0,46	0,59	-0,30	-0,15	0,97	-0,51	-0,16	-0,79	0,41	0,73	0,31	-0,26
Ukazatel předchozích srážek ke dni Q_0	$APIQ_0$	-0,45	0,51	1,00	0,75	-0,31	0,34	0,25	-0,06	0,18	0,65	-0,42	-0,14	-0,61	0,12	0,25	0,65	-0,35
Ukazatel předchozích srážek* [mm]	API	-0,42	0,66	0,75	1,00	-0,39	0,50	0,52	-0,38	0,05	0,70	-0,44	0,21	-0,47	0,10	0,37	0,31	-0,50
Objem povodňové vlny [m^3]	V	0,43	-0,24	-0,31	-0,39	1,00	-0,28	-0,32	0,42	0,58	-0,26	0,74	-0,02	0,28	-0,20	-0,06	-0,25	0,00
Průtok v patě povodňové vlny [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_0	-0,37	0,46	0,34	0,50	-0,28	1,00	-0,04	-0,27	-0,03	0,55	-0,43	0,04	-0,53	0,16	0,46	0,25	-0,37
Pořadí dne v roce	SEZ	-0,41	0,59	0,25	0,52	-0,32	-0,04	1,00	-0,49	-0,10	0,45	-0,22	0,11	-0,38	0,20	0,45	0,03	-0,34
Trvání vzestupné větve [dny]	Tzv	0,14	-0,30	-0,06	-0,38	0,42	-0,27	-0,49	1,00	0,58	-0,18	0,56	-0,34	0,22	-0,63	-0,05	0,26	0,05
Doba koncentrace odtoku [dny]	C	-0,14	-0,15	0,18	0,05	0,58	-0,03	-0,10	0,58	1,00	-0,08	0,71	0,06	0,05	-0,49	0,00	0,14	-0,42
Maximální denní srážka [mm]	S_{max}	-0,39	0,97	0,65	0,70	-0,26	0,55	0,45	-0,18	-0,08	1,00	-0,55	-0,20	-0,81	0,36	0,74	0,49	-0,26
Počet vrcholů povodňové vlny	$Vrch$	0,15	-0,51	-0,42	-0,44	0,74	-0,43	-0,22	0,56	0,71	-0,55	1,00	0,05	0,51	-0,65	-0,33	-0,36	-0,26
Oteplení [$^{\circ}C$]	ΔT	0,23	-0,16	-0,14	0,21	-0,02	0,04	0,11	-0,34	0,06	-0,20	0,05	1,00	0,32	0,01	-0,22	-0,28	-0,20
Úbytek sněhové pokrývky [mm]	$\Delta Snih$	0,68	-0,79	-0,61	-0,47	0,28	-0,53	-0,38	0,22	0,05	-0,81	0,51	0,32	1,00	-0,43	-0,53	-0,46	0,22
Prostorové rozložení srážek	PRS	0,05	0,41	0,12	0,10	-0,20	0,16	0,20	-0,63	-0,49	0,36	-0,65	0,01	-0,43	1,00	0,17	0,02	0,48
Velikost SJ_{25} na plochu [%]	SJ_{25}	-0,10	0,73	0,25	0,37	-0,06	0,46	0,45	-0,05	0,00	0,74	-0,33	-0,22	-0,53	0,17	1,00	0,39	-0,16
Povodňová účinnost	ID	-0,27	0,31	0,65	0,31	-0,25	0,25	0,03	0,26	0,14	0,49	-0,36	-0,28	-0,46	0,02	0,39	1,00	-0,01
Synoptická situace	SS	0,47	-0,26	-0,35	-0,50	0,00	-0,37	-0,34	0,05	-0,42	-0,26	-0,26	-0,20	0,22	0,48	-0,16	-0,01	1,00

Zdroj dat: ČHMÚ.

* k prvnímu dni s příčinnou srážkou

Tab. 6.2 Korelační matice pro proměnné v letním hydrologickém půlroce.

Proměnná		Q_k	SRA_2	$APIQ_0$	API	V	Q_0	SEZ	Tzv	C	S_{max}	$Vrch$	PRS	SJ_{25}	q	ID	SS
Kulminační průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_k	1,00	0,89	0,24	0,31	0,94	0,26	0,01	-0,16	-0,22	0,86	0,01	0,11	0,36	0,69	0,09	0,34
Dvoudenní příčinná srážka [mm]	SRA_2	0,89	1,00	0,05	0,08	0,84	0,02	0,13	-0,22	-0,18	0,93	-0,08	0,13	0,26	0,37	0,20	0,27
Ukazatel předchozích srážek ke dni Q_0	$APIQ_0$	0,24	0,05	1,00	0,81	0,32	0,28	0,02	0,11	-0,06	-0,06	0,26	0,30	-0,07	0,47	-0,23	0,26
Ukazatel předchozích srážek * [mm]	API	0,31	0,08	0,81	1,00	0,49	0,33	0,20	0,43	0,03	0,03	0,32	0,33	-0,15	0,63	-0,19	0,41
Objem povodňové vlny [m^3]	V	0,94	0,84	0,32	0,49	1,00	0,32	0,08	0,12	-0,05	0,77	0,13	0,26	0,26	0,70	0,00	0,42
Průtok v patě povodňové vlny [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_0	0,26	0,02	0,28	0,33	0,32	1,00	-0,38	0,20	-0,09	0,12	0,26	0,01	0,23	0,52	-0,19	0,00
Pořadí dne v roce	SEZ	0,01	0,13	0,02	0,20	0,08	-0,38	1,00	0,16	0,03	0,07	0,19	0,26	-0,19	-0,12	0,20	0,41
Trvání vzestupné větve [dny]	Tzv	-0,16	-0,22	0,11	0,43	0,12	0,20	0,16	1,00	0,56	-0,27	0,59	0,43	-0,18	0,06	-0,24	0,06
Doba koncentrace odtoku [dny]	C	-0,22	-0,18	-0,06	0,03	-0,05	-0,09	0,03	0,56	1,00	-0,26	0,44	0,18	-0,04	-0,25	-0,05	-0,04
Maximální denní srážka [mm]	S_{max}	0,86	0,93	-0,06	0,03	0,77	0,12	0,07	-0,27	-0,26	1,00	-0,09	0,04	0,29	0,44	0,27	0,29
Počet vrcholů povodňové vlny	$Vrch$	0,01	-0,08	0,26	0,32	0,13	0,26	0,19	0,59	0,44	-0,09	1,00	0,18	0,19	0,03	-0,29	-0,03
Prostorové rozložení srážek	PRS	0,11	0,13	0,30	0,33	0,26	0,01	0,26	0,43	0,18	0,04	0,18	1,00	-0,28	0,08	-0,10	0,21
Velikost SJ_{25} na plochu [%]	SJ_{25}	0,36	0,26	-0,07	-0,15	0,26	0,23	-0,19	-0,18	-0,04	0,29	0,19	-0,28	1,00	0,10	-0,13	0,09
Odtokový koeficient	q	0,69	0,37	0,47	0,63	0,70	0,52	-0,12	0,06	-0,25	0,44	0,03	0,08	0,10	1,00	-0,05	0,40
Povodňová účinnost	ID	0,09	0,20	-0,23	-0,19	0,00	-0,19	0,20	-0,24	-0,05	0,27	-0,29	-0,10	-0,13	-0,05	1,00	0,13
Synoptická situace	SS	0,34	0,27	0,26	0,41	0,42	0,00	0,41	0,06	-0,04	0,29	-0,03	0,21	0,09	0,40	0,13	1,00

Zdroj dat: ČHMÚ.

* k prvnímu dni s příčinnou srážkou

Vyznačení korelačních koeficientů na hladině významnosti:
■ signifikance 0,01
■ signifikance 0,05

Dendrogramy proměnných, tj. příčinných faktorů ovlivňujících vznik povodní a parametrů popisujících vlastnosti povodňových vln v profilu Opava, jsou prvními výstupy shlukové analýzy (Obr. 6.1 a 6.2). Ukazují míru podobnosti mezi proměnnými. Pokud byly tímto postupem parametry zařazeny do stejného shluku, jejich účinky na vznik a průběh povodní jsou si podobné a pravděpodobně jsou i navzájem zástupné. Na základě zadaných předpokladů, byly parametry rozděleny do čtyř skupin (Obr. 6.1 a 6.2), které jsou odlišné pro zimní a letní půlrok, což dokazuje, že na vzniku zimních a letních povodní se podílejí jiné mechanismy (viz kapitulu 5).

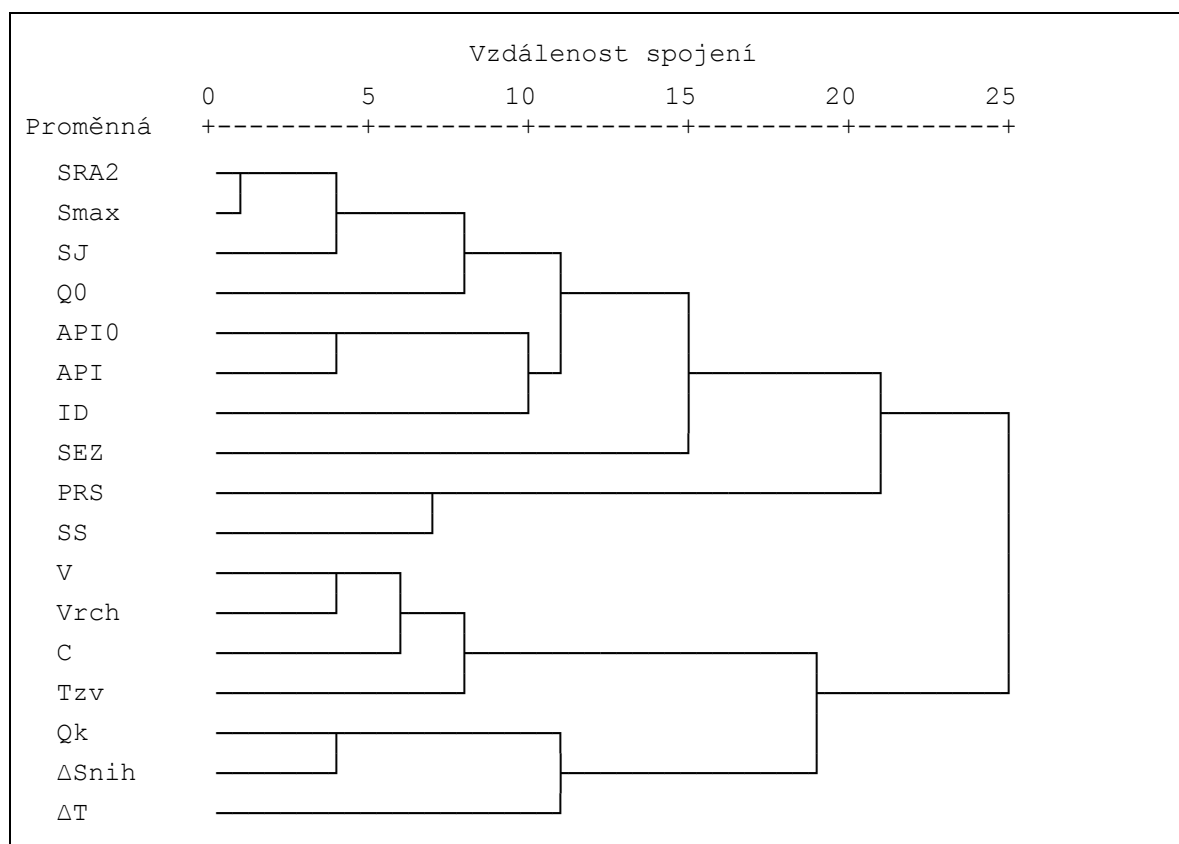
U zimních povodní jsou do první skupiny (Obr. 6.1) zařazeny předběžné (nasycenost povodí a průtok v patě povodňové vlny) a příčinné faktory (srážky a srážkové jádro). Z toho je vidět, že těsnost mezi srážkami a nasyceností povodí je výraznější (Tab. 6.1). Tento vztah je ovšem fiktivní, protože předcházející srážky, které se používají pro výpočet API [Hladný, 1962], mohou v zimním období zůstat ležet v podobě sněhu a nepodílet se na nasycenosti půdního prostředí v době uvažované povodňové epizody. Parametr API byl v souboru vstupních veličin uplatněn v zimním půlroce pouze pro relativní rozlišení povodňových případů z hlediska jejich potenciálního ovlivnění předchozími srážkami. Čím vyšší API, tím vzniká pravděpodobněji vyšší sněhová pokrývka se zvýšenou retenční schopností a tím v menší míře se může projevovat vliv nasycenosti povodí. Svědčí o tom záporné korelační koeficienty mezi ΔS_{snih} a SRA_2 , $APIQ_0$ a API (Tab. 6.1). Tento závěr podporuje i zjištění, že zároveň není pozorována těsnější spojitost srážek s kulminačním průtokem, na jehož velikosti se podílí obvykle více faktorů než v letním období. Zřejmě však také proto, že valná část srážek padá v podobě sněhu. Dešťové povodně v rámci zimního půlroku patří spíše k těm menším, pokud se zde vůbec vyskytnou.

Dalším uskupením je synoptická situace a prostorové rozložení srážek. Tato závislost již byla diskutována v kapitole 5, kde bylo prokázáno, že povětrnostní podmínky s charakteristickým prouděním ovlivňují rozložení srážek v povodí.

Třetí samostatnou skupinu tvoří charakteristiky povodňové vlny (trvání vzestupné větve, doba koncentrace, počet vrcholů na povodňové vlně a její objem). Tyto parametry jsou důležitými identifikátory pro určení povodní spojených s táním sněhové pokrývky, které se vyznačují relativně velkým objemem i při menších průtocích, delší dobou koncentrace a mají obvykle více vrcholů.

Poslední skupina, která naznačuje volnější spojení s třetím shlukem, je charakterizována příčinnými podmínkami vzniku povodní (tání sněhové pokrývky a nárůst teploty) a následkem, tj. kulminačním průtokem. Z toho vyplývá, že v zimním období jsou

zvětšené průtoky vyvolané většinou vodou z tajícího sněhu a dešťové srážky spíše jako sekundární činitel urychlují průběh oblevy.



Obr. 6.1 Dendrogram proměnných - parametrů povodňových událostí pro zimní hydrologický půlrok, (zkratky viz Tab. 6.1).

Zdroj dat: ČHMÚ.

V letním půlroce první skupina shluků představuje hlavní příčinu vzniku povodní (příčinná dvoudenní srážka a maximální denní srážka) a jejich následek odtokovou odezvu (kulminační průtok a objem povodňové vlny), mezi kterými existuje úzká spojitost (viz kapitolu 5).

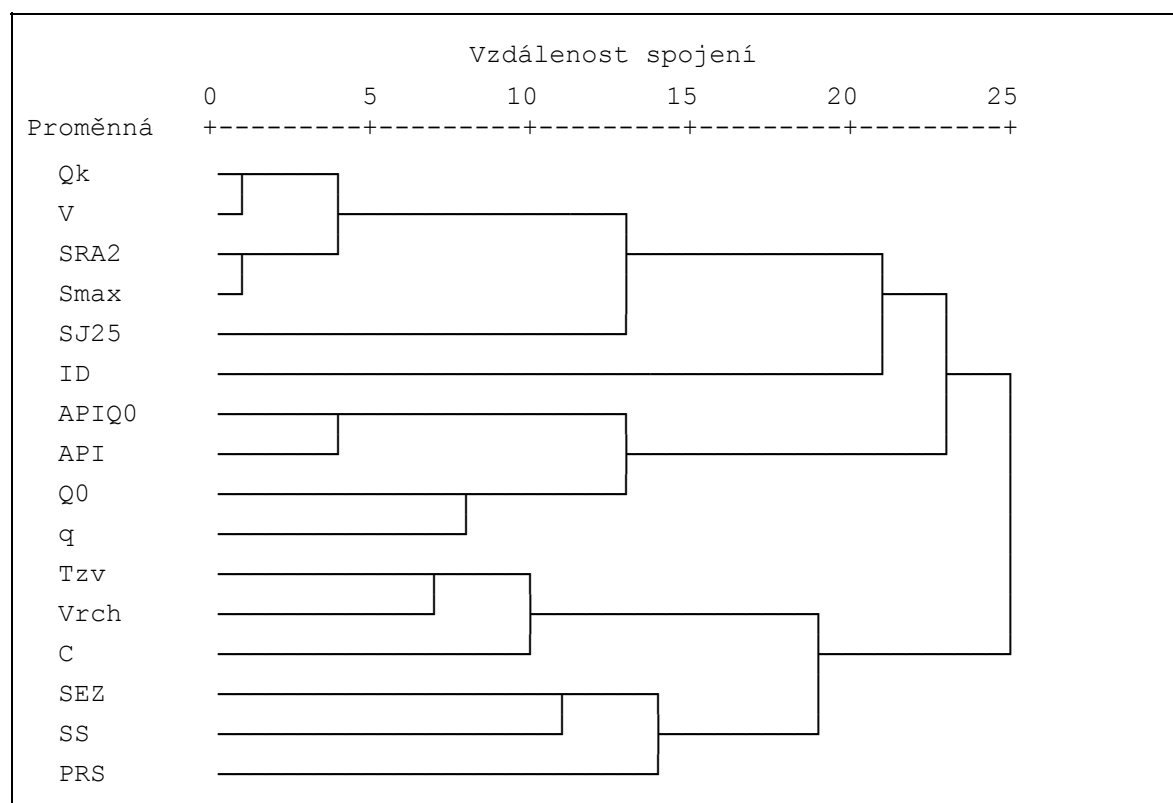
Další skupina reprezentuje stav povodí před vypadáváním příčinné srážky (ukazatele předchozího nasycení, průtok v patě povodňové vlny).

Třetí shluk charakterizuje období mezi spadem příčinné srážky v povodí a poklesem průtoků (prostorové rozložení srážek, trvání vzestupné větve, doba koncentrace a počet vrcholů na povodňové vlně).

Poslední seskupení je tvořeno charakteristikami popisující sezonalitu výskytu povodní a charakteristickou povětrnostní situaci, která má také sezónní závislost (vazba je dosti volná) a často určité prostorové rozložení srážek. To potvrzují i závěry z předchozí kapitoly 5, kde bylo prokázáno, že v určité sezóně se vyskytuje charakteristické proudění

vzduchu s příčinou povětrnostní situací, které vytváří typické rozložení srážek a vede tak ke vzniku povodňové situace.

Logické souvislosti v rámci jednotlivých skupin parametrů ukazují na to, že tyto výsledky lze považovat za fyzikálně opodstatněné a je možné je tedy používat při dalších analýzách povodňového mechanismu.



Obr. 6.2 Dendrogram proměnných - parametrů povodňových událostí pro letní hydrologický půlrok, (zkratky viz Tab. 6.2).

Zdroj dat: ČHMÚ.

6.2.3 Klasifikace vybraných parametrů povodňového režimu

Na základě korelační analýzy a aglomerativního hierarchického shlukování (dendrogramu) byly mezi proměnnými uvažovanými pro letní a zimní hydrologický půlrok vybrány parametry, které nejlépe charakterizují povodňovou událost (Tab. 6.3). Proměnné byly vybrány tak, aby alespoň přibližně reprezentovaly příčinné meteorologické podmínky, a i samotný průběh vyvolaných povodňových vln. Výsledný soubor obsahoval osm proměnných v případě letních a jedenáct proměnných v případě zimních povodňových událostí.

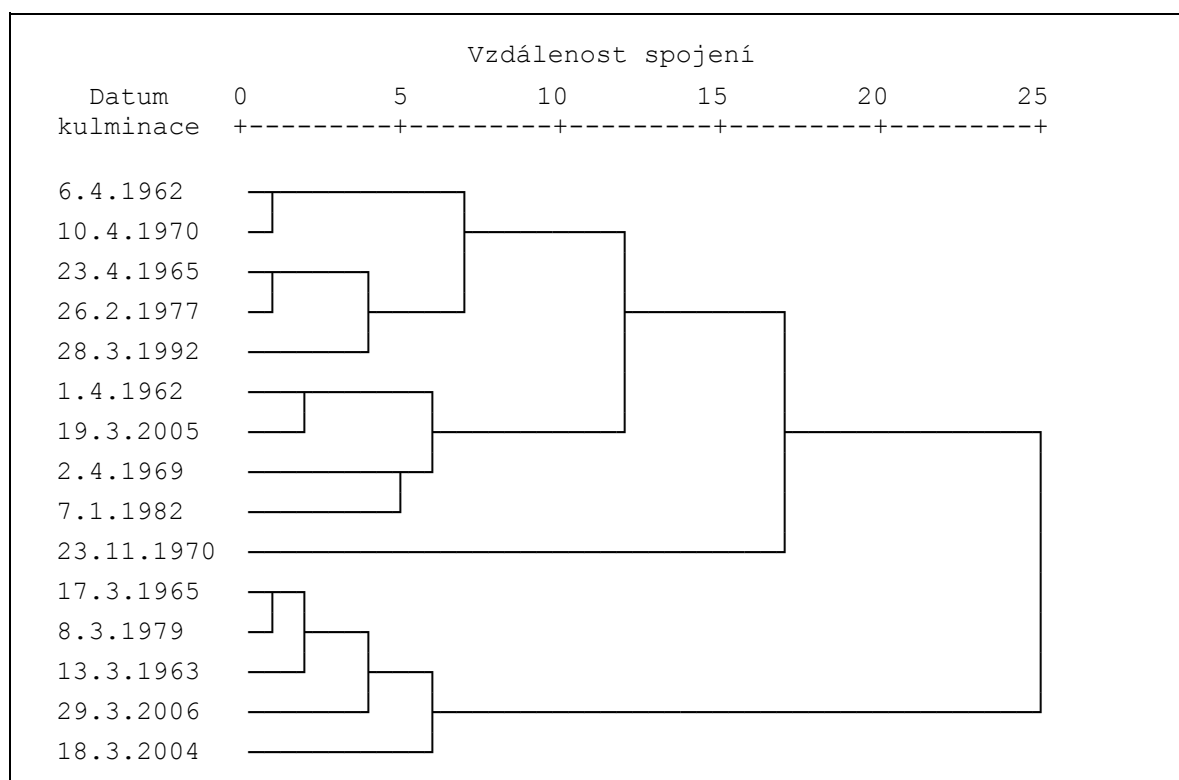
Podrobnější analýza a rozbor povodňových vln byl proveden u 30 povodňových případů v letním a u 15 epizod v zimním půlroce. Pro tyto povodňové situace byla také

vytvořena databanka povodní (Příloha VI), která je mimo jiné cenným materiálem i pro identifikaci analogů mezi jednotlivými povodňovými případy.

Tab. 6.3 Vybrané proměnné parametry pro shlukovou analýzu povodní.

Ukazatel	Proměnné parametry	Označení	LHP	ZHP
Sezonalita	Pořadí dne v roce	SEZ	x	x
Předběžné meteorologické faktory	Ukazatel předchozích srážek* [mm]	API	x	x
	Průtok v patě povodňové vlny [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Q_0	x	x
Příčinné meteorologické podmínky	Dvoudenní příčinná srážka [mm]	SRA_2	x	x
	Oteplení [$^{\circ}\text{C}$]	ΔT	-	x
	Úbytek sněhové pokrývky [mm]	ΔSnih	-	x
	Prostorové rozložení srážek	PRS	x	x
Charakteristiky odtokové odezvy	Kulminační průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Q_k	x	x
	Objem povodňové vlny [m^3]	V	x	x
	Doba koncentrace odtoku	C	x	x
	Počet vrcholů povodňové vlny	Vrch	-	x

*k prvnímu dni s příčinnou srážkou, x - parametr zahrnut do sledování



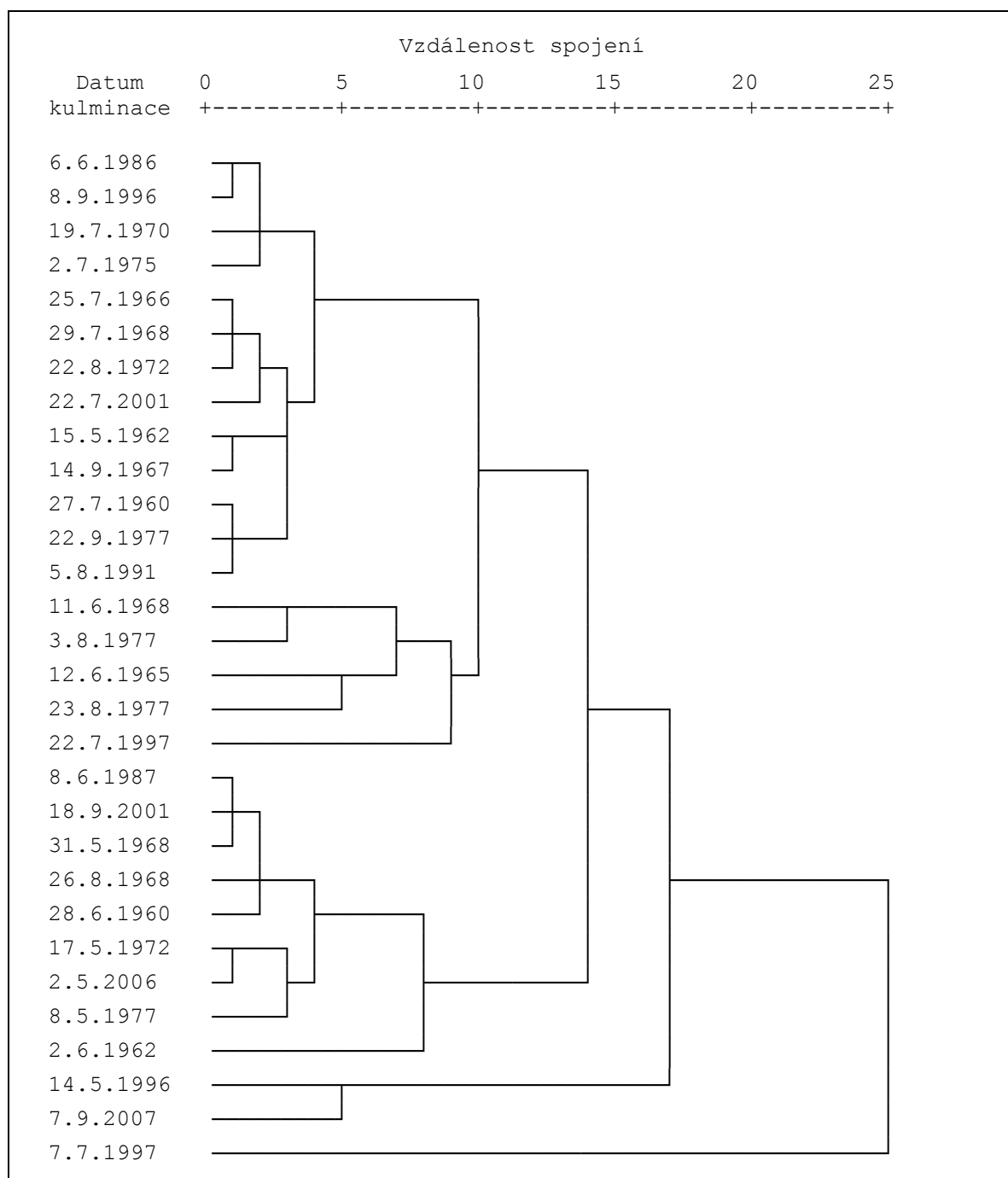
Obr. 6.3 Dendrogram zimních povodní.

Zdroj dat: ČHMÚ.

6.3 Shluková analýza povodňového zatížení krajiny

Výsledky shlukové analýzy zvlášť pro letní a zimní půlrok ukazují Obr. 6.3 a 6.4. K vytvoření dendrogramů bylo použito dvou rozlišovacích způsobů zjišťování vzdálenosti

a těsnosti proložení mezi objekty - metoda nejvzdálenějšího souseda a Pearsonův korelační koeficient. Pro analýzu podobnosti povodní byla stanovena vzdálenost spojení na hladině 10, na které se daly vyčlenit čtyři skupiny zimních povodní a pět letních. U letních povodní bylo rozdělení spíše orientační, protože občas v rámci jedné skupiny povodní se promíchávaly mechanismy jejich vzniku. Zimní povodně byly lépe rozděleny podle jejich příčiny vzniku (dešťové, sněhové anebo jejich kombinace).



Obr. 6.4 Dendrogram letních povodní.

Zdroj dat: ČHMÚ.

6.4 Analýza podobnosti povodní

Index podobnosti byl vypočten pro větší množství parametrů, ale do výsledných Tab. 6.4 a 6.5 jich bylo zahrnuto jen několik. Jako nejdůležitější byly vybrány parametry, které charakterizují povodeň z hlediska povodňového nebezpečí, tedy její extremity (kulminační průtok (Q_k) a objem povodňové vlny (V)). Z předběžných podmínek byl zahrnut ukazatel předchozí srážek k prvnímu dni s příčinou srážkou (API), maximální dvoudenní úhrn srážek (SRA_2) a jejich prostorové rozložení v povodí (PRS), které vykazuje ve většině případech souvislost s příčinnou povětrnostní situací. Do výběru nebyl zahrnut tvar povodňových vln, který však určitým způsobem implicitně naznačují meteorologické příčiny povodní a je částečně popsán také pomocí uveřejněného kulminačního průtoku a objemu.

Shody v příčinách povodní a v jejich projevech jsou vyjádřeny v Tab. 6.4 a 6.5, kde pro lepší názornost, nejsou uváděny hodnoty Indexu podobnosti (I_p), ale jejich intervaly v barevné škále. Za předpokladu, že bude u povodní k dispozici všech pět uvažovaných vstupních parametrů, lze povodňové situace uznat za analog a při kategorizaci povodní je zařadit do stejné skupiny.

Tab. 6.4 Povodňový index pro povodně v zimním hydrologickém půlroce.

Tab. 6.5 Povodňový index pro povodně v letním hydrologickém půlroce.

6.5 Kategorizace povodňové odezvy

Výsledné kategorie povodňových vln vznikly syntézou dosažených výsledků shlukovou analýzou (Obr. 6.3 a 6.4) a pomocí indexu podobnosti (Tab. 6.4 a 6.5). K vizuálnímu porovnání byly použity i závěry vyslovené v kapitole 5, které také prokázaly, že sezonní výskyt povodní na Opavě je spojen s určitým typem příčinné povětrnostní situace s charakteristickým rozložením srážek, které pak ovlivňují i následný průběh a tvar povodňové vlny v povodí. Proto byly kategorie povodní vytvořeny tak, aby se mezi sebou nepodobaly jen vlastnostmi povodňových vln, ale také meteorologickými příčinami, které vedly k jejich genezi. Termínem „povodeň“ se tedy v této kapitole rozumí povodňová epizoda a její hydrogram z hlediska těchto dvou charakteristik.

Na základě takto definovaných kritérií byly celkem vymezeny čtyři typy zimních (jarních) a pět skupin letních povodní:

(1) Povodně v zimním půlroce

- (1.1) Jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu
- (1.2) Zimní a jarní smíšené povodně
- (1.3) Jarní a zimní povodně s převažujícím vlivem dešťových srážek
- (1.4) Podzimní dešťové povodně

(2) Povodně v letním půlroce

- (2.1) Velké letní povodně s orografickým zesílením srážek
- (2.2) Povodeň z července 1997
- (2.3) Letní povodně s orografickým zesílením srážek
- (2.4) Letní povodně bez orografického zesílení srážek
- (2.5) Letní povodně z konvekčních bouří

6.5.1 Kategorizace zimních povodní

Zimní povodně v povodí Opavy jsou v porovnání s letními případy mnohem mírnější, spíše jsou často silnějším rozvodněním z důvodů, o kterých je pojednáno v kapitole 5. Přesto se za zvláštních okolností vytvářejí průtokové vlny, které mohou již působit povodňové ohrožení. Proto byly také kategorizovány.

U kategorizace zimních povodní bylo převzato rozdělení vytvořené shlukovou analýzou (Obr. 6.3), kde jednotlivé povodňové případy jsou sdružovány podle jejich příčin vzniku do samostatných kategorií. Skupiny byly následně porovnány s metodou

povodňového indexu (I_p) a vizuálně zkontrolovány, na základě poznatků dosaženými v kapitole 5 (příčinná povětrnostní situace, prostorové a časové rozložení srážek, vývoj meteorologických prvků v předkulminační fázi, průběh povodňové vlny - vliv faktorů, které nebylo možné v dostatečné míře zahrnout do shlukové analýzy) a s využitím databanky povodní (Příloha VI).

(1.1) Jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu

Do této kategorie byly zařazeny povodňové případy, u kterých se tání sněhu podílelo na vzniku odtoku rozhodujícím způsobem. Patří sem sněhové a smíšené povodně s převahou vlivu tání sněhu, které byly vymezeny pomocí jednoduché statistické analýzy v kapitole 5.2. Tato kategorie obsahuje z disponibilního souboru pět povodní (Tab. 6.6), které se vyskytly výhradně jen v březnu. Velikostí kulminačního průtoku se řadí jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu k těm extrémnějším v povodí Opavy v zimním období. Přesto však jen lehce přesahují zpravidla hodnotu dvouleté vody.

Všechny analyzované epizody se vyskytly v letech, kdy sněhové zásoby vykazovaly nadprůměrné hodnoty. Dokonce roky 1963, 1965 a 2006 patří k sněhově nejbohatším za sledované období 1960-2006 [Královec, 2009], což ukazuje na zvýšené riziko vzniku povodní v jarním období při tání sněhu v letech, kdy existují nadprůměrné zásoby sněhové pokrývky.

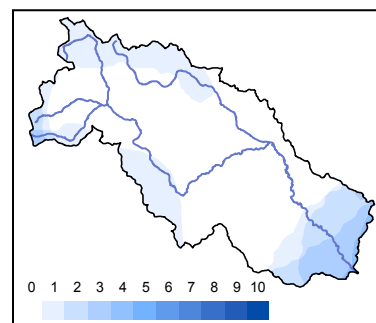
Povětrnostní situace, které předcházely povodňovým případům mají většinou západní až jihozápadní složku proudění vzduchu přinášející do střední Evropy výrazné oteplení a srážky, které ovšem obvykle v povodí Opavy díky závětrí Hrubého Jeseníku nevykazuje vysoké úhrny. To je také jeden z hlavních důvodů, proč v povodí Opavy zimní povodně nedosahují extrémně vysokých průtoků (více kapitola 5). Nejvyšší teploty vzduchu při těchto synoptických situacích se vyskytují tři až dva dny před kulminací a obvykle i v pokulminační fázi se ještě udržují nad bodem mrazu.

Jediný případ, tj. povodeň v roce 2004, byl spojen s výskytem anticyklonálního bezesrážkového počasí. Této epizodě předcházelo delší období (přibližně 10 dnů) s kladnými teplotami a v době kulminace se udržovaly průměrné teploty v povodí Opavy okolo 12°C, což vedlo k tání sněhu a ke zvětšování průtoků. Přesto většinou samotné anticyklonální situace nevedou zpravidla ke vzniku povodní, protože sluneční záření nemívá ještě takovou energii, aby způsobovalo extrémní tání sněhu. S ohledem na hodnotu kulminačního průtoku se lze tedy domnívat, že retenční kapacita sněhové pokrývky byla již před touto epizodou značně omezena a vodní hodnota sněhu vykazovala vysoké hodnoty.

Tab. 6.6 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu“.

Datum kulminace	Kulminační průtok [m ³ .s ⁻¹]	Objem povodňové vlny [mil. m ³]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
13.3.1963	78,1	12,76	Wcs	6,8
17.3.1965	71,2	17,30	Wc	0,3
8.3.1979	60,5	13,40	Bp	6,6
18.3.2004	56,1	17,70	A	0,0
29.3.2006	83,4	35,35	SWc ₂	11,1

Zdroj dat: ČHMÚ.



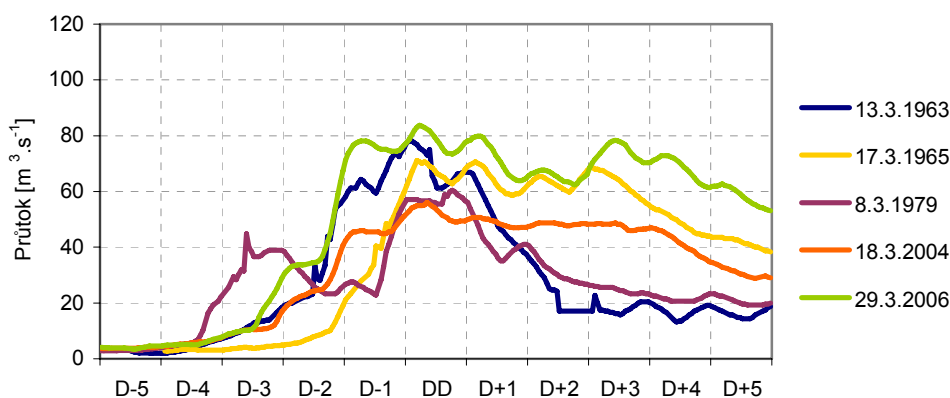
Obr. 6.5 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.1).

Zdroj dat: ČHMÚ.

Polohy srážkových jader (Obr. 6.5) u této skupiny nejsou koncentrovány do jedné oblasti povodí. K menšímu soustředění dochází pouze na dolním toku Opavy, což výrazně ovlivňuje vznik povodně. Ukázkou jsou povodně z března 1963 a 1979, kdy největší objem srážek vypadal v Opavské pánvi. Ač tyto srážkové úhrny převážně v podobě deště nebyly příliš vysoké, přispěly k urychlenému tání sněhové pokrývky, protože vypadávaly v dolní části povodí, kde sněhová pokrýвка nebyla příliš mocná a její retenční kapacita byla rychle nasycena.

Typickým rysem kategorie je specifický tvar povodňové vlny obvykle s více vrcholy (Obr. 6.6). Na vzestupné i poklesové větvi vlny je patrný denní chod teploty s různě intenzivním táním sněhové pokrývky. Vlny se vyznačují značným objemem a mírně klesající větvi, což je způsobeno především kladnými teplotami i v pokulminační fázi.

Přestože tyto povodňové vlny nedosahují ve vrcholu velkých průtokových hodnot, patří relativně ze všech zimních povodní v povodí Opavy k těm nejnebezpečnějším, a to především následkem svého poměrně dlouhého povodňového účinku.



Obr. 6.6 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu“.

Zdroj dat: ČHMÚ.

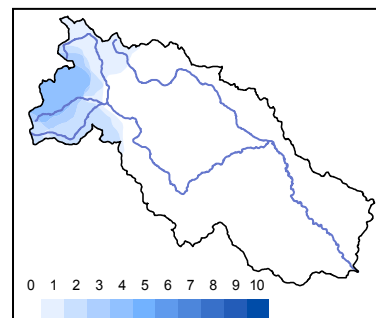
(1.2) Zimní a jarní smíšené povodně

Do další skupiny byly zařazeny povodňové případy zapříčiněné kombinací dešťových srážek a táním sněhové pokrývky anebo za situace, kdy se tání podílelo výraznou měrou na nasycení povodí a poté došlo ke srážkám. Kategorie je reprezentována čtyřmi povodňovými epizodami (Tab. 6.7).

Tab. 6.7 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Zimní a jarní smíšené povodně“.

Datum kulminace	Kulminační průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Objem povodňové vlny [mil. m^3]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
1.4.1962	58,2	7,17	Wcs	8,0
2.4.1969	53,3	11,86	Wc	3,6
7.1.1982	77,0	14,20	Wc	18,1
19.3.2005	99,1	13,19	Wc	5,3

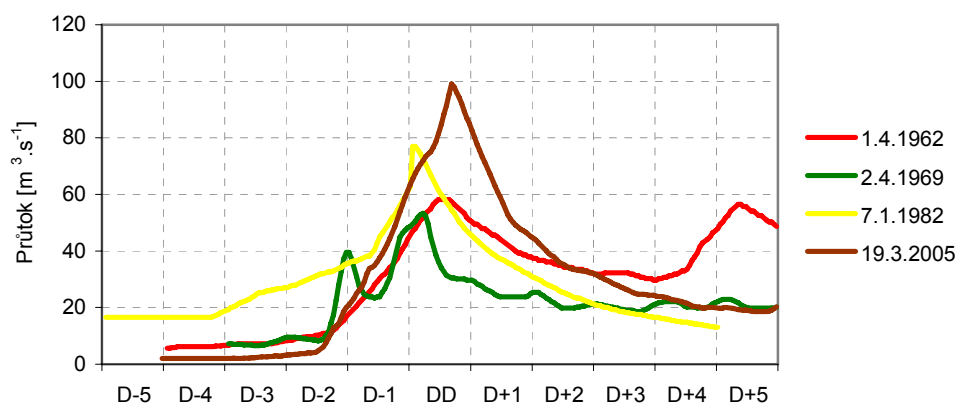
Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 6.7 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.2).

Zdroj dat: ČHMÚ.

Příčinným synoptickým typem byly u této skupiny povodní západní cyklonální situace (Wc a Wcs). Trajektorie řídících cyklon směřovaly z oblasti Atlantiku severně od České republiky. Přes střední Evropu tak přecházely jednotlivé frontální systémy od západu, které přinášely srážky. Při těchto synoptických situacích docházelo v předkulminační fázi k nárůstu teploty (nad nulové hodnoty po dobu až tří dnů), kdy zároveň během těchto dnů vypadávaly dešťové srážky. V době kulminace opět došlo k poklesu teploty pod bod mrazu, což vedlo k omezení tání sněhové pokrývky a tím i ke zkrácení trvání povodňové epizody.



Obr. 6.8 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Jarní smíšené povodně“.

Zdroj dat: ČHMÚ

Společným znakem povodní této kategorie je koncentrace jádra příčinných srážek do vrcholové oblasti Hrubého Jeseníku (Obr. 6.7), kde obvykle v tuto dobu ještě leží relativně vysoká sněhová pokrývka. Pokud vypadávání srážek nepředchází delší období s kladnými hodnotami, kdy tání sněhu je v pokročilém stádiu a retenční kapacita sněhové pokrývky je vyčerpána, bývá jejich objem převážně zadržen. Proto obvykle tyto povodně nedosahují velkých průtoků. Výjimku představuje, povodeň z března 2005, kdy byly teploty v období před jejím výskytem teploty byly poměrně vysoké a docházelo ke zvyšování vodní hodnoty sněhu. Tato povodeň je největší zimní povodní od roku 1960 v povodí Opavy.

Povodňové vlny (Obr. 6.8) mají oproti předchozí kategorii (1.2) jednodušší průběh povodňového hydrogramu, nedosahují takového trvání a objemů. Je to dáno především poklesem kladných teplot vzduchu v době kulminace, což vysvětluje jejich poměrně strmější větev.

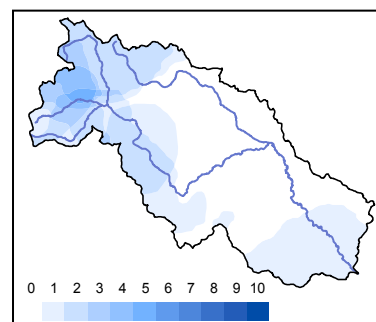
(1.3) Zimní a jarní povodně s převažujícím vlivem dešťových srážek

Do skupiny *Jarní a zimní dešťové povodně* (1.3) resp. povodně s převažujícím vlivem dešťových srážek bylo zařazeno pět případů (Tab. 6.8). U těchto epizod nemůže však být vliv tání sněhové pokrývky úplně vyloučen, i když už v povodí neleží sníh či se udržuje jen ve vyšších polohách. Důvodem se skutečnost, že voda z tajícího sněhu obvykle nasytí povodí, což má za následek, že i relativně menší dešťové srážky v jarním období mohou pak vyvolat vznik povodně.

Tab. 6.8 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Jarní a zimní dešťové povodně“.

Datum kulminace	Kulminační průtok [m ³ .s ⁻¹]	Objem povodňové vlny [mil. m ³]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
6.4.1962	56,5	9,13	B	15,6
23.4.1965	56,3	14,51	C	21,7
10.4.1970	54,5	9,07	C	13,6
26.2.1977	52,5	17,02	SWc ₃	14,6
28.3.1992	55,3	13,12	C	19,6

Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 6.9 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.3).

Zdroj dat: ČHMÚ.

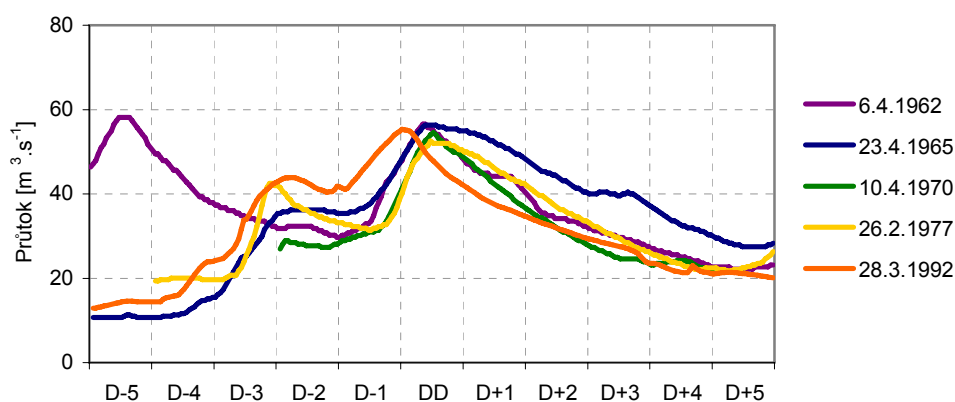
Tato kategorie obsahuje povodňové situace, které svým kulminačním průtokem nepřesáhly hodnotu 60 m³.s⁻¹. Jedná se o povodně z dubna a konce března. Jedinou výjimku představuje povodeň z února 1977, která se liší i v příčinné povětrnostní situaci.

Na vzniku této povodně se podílelo jihozápadní proudění teplého vzduchu. Kladné teploty vzduchu během dnů D-7 až D-3 doprovázené dešťovými srážkami, vedly k tání a k nasycení retenční kapacity sněhové pokrývky, která se udržovala ve vyšších polohách, což vyvolalo mírné zvětšení průtoků (Obr. 6.10), podružné maximum, na vzestupné větvi. A při dalším vypadávání srážek pak došlo ke kulminaci.

Ostatní povodňové případy souvisely s postupem cyklony z oblasti Středomoří. Narozdíl od letních cyklonálních situací, které pocházejí rovněž z této oblasti a způsobují v našich zeměpisných šířkách povodně, jsou tyto cyklony hlubší a postupují po jižním okraji našeho území směrem na východ anebo přes něj k severovýchodu. Srážkové úhrny však nedosahují takových hodnot jako v letním půlroce.

Rozložení srážkového jádra je u těchto epizod nerovnoměrné (Obr. 6.9), přesto je jejich největší počet koncentrován do vrcholové části Hrubého Jeseníku, kde v některých případech leží ještě sněhová pokrývky, která již v předkulminační fázi má zřejmě vysokou vodní hodnotu a vlivem vypadávání srážek dochází k jejímu rychlému tání.

Společným rysem všech povodňových vln (jak už bylo naznačeno u povodně z února 1977), je podružné maximum na vzestupné větvi povodňového hydrogramu (Obr. 6.10), které souvisí s chodem srážek a teplot v předkulminační fázi. Je tedy zřejmé, že na vzniku těchto povodní se uplatňují dvě fáze. V první fázi dochází k výraznějšímu nasycení povodí a k mírnému nárůstu průtoků (vypadávání dešťových srážek, kladné teploty a následné tání sněhu anebo jejich kombinace). Pak je obvykle srážková činnost přerušena a až následně druhý impulz v podobě relativně vyšších srážek, které vypadávají na již nasycené povodí, způsobuje výraznější rozvodnění.



Obr. 6.10 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie "Jarní a zimní dešťové povodně".

Zdroj dat: ČHMÚ.

(1.4) Podzimní dešťové povodně

Do této kategorie byla zařazena pouze jediná povodeň z listopadu 1970 (Tab. 6.9), která, posuzováno z hlediska nezonálního výskytu, je výjimečnou povodní v této oblasti.

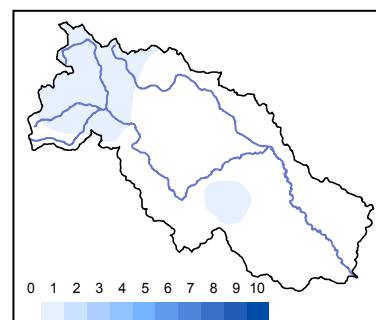
Srážkové jádro bylo situováno do pramenné oblasti (Obr. 6.11), s lokálním výskytem ve střední části povodí, což naznačuje, že srážky mohly být spojeny s konvekční oblačností, která přispěla ke zvětšeným srážkovým úhrnům.

Řídící tlaková níže postupovala z jihozápadu přes Itálii a dále jižně od našeho území směrem k východu.

Tab. 6.9 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Podzimní dešťové povodně“.

Datum kulminace	Kulminační průtok [m ³ .s ⁻¹]	Objem povodňové vlny [mil. m ³]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
23.11.1970	47,3	6,52	Bp	34,4

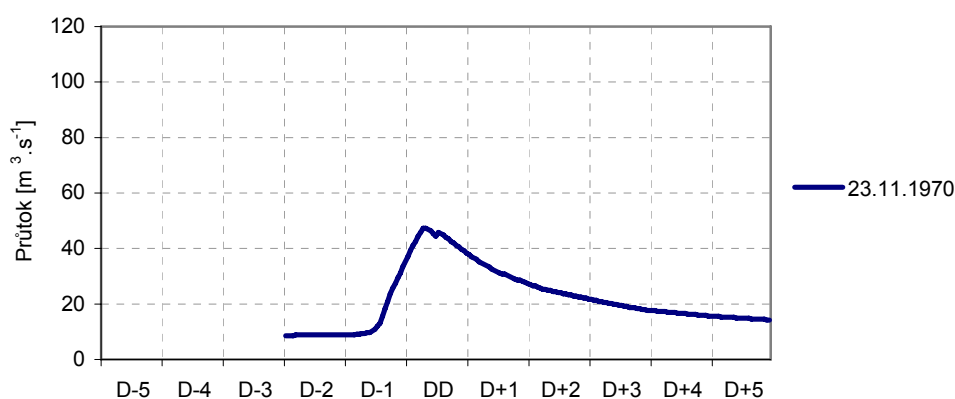
Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 6.11 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.4).

Zdroj dat: ČHMÚ.

Průtoková vlna (Obr. 6.12) v Opavě měla jednoduchý tvar s rychlým vzestupem povodňových průtoků, který souvisel s relativně nasyceným povodím v době vypadávání srážek. Celkově je objem této povodňové vlny však poměrně malý.



Obr. 6.12 Průtoková vlna na Opavě v Opavě zařazena do kategorie „Podzimní dešťové povodně“.

Zdroj dat: ČHMÚ.

6.5.2 Kategorizace letních povodní

Kategorizace letních povodní pomocí shlukové analýzy neposkytla tak jasné výsledky jako v případě zimních povodní, aby ji bylo možné beze změny přijmout. Vytvořené shluky byly proto porovnány s indexy podobnosti (I_p) Tab. 6.5 a upraveny tak, aby se jednotlivé povodně v rámci jedné skupiny co nejvíce podobaly, a to na základě extremity, prostorového a časového rozložení srážek, které je vyvoláno určitým typem atmosférické cirkulace a ovlivňuje tak průběh a tvar povodňové vlny v povodí. Dále byly brány do úvahy také podobné vlastnosti mechanismu vzniku. K tomu byly opět využity poznatky z kapitoly 5 a pro vizuální porovnávání jednotlivých případů i *Katalog povodňových situací* (Příloha VI).

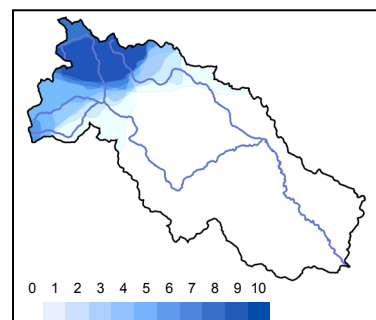
(2.1) Velké letní povodně s orografickým zesílením srážek

Do této kategorie byly zařazeny povodně s kulminačním průtokem přesahující hodnotu $102 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Opavě v Opavě, při němž se vyhláší třetí stupeň povodňové aktivity (stav ohrožení). Tato skupina obsahuje devět povodňových epizod (Tab. 6.10), které se vyskytly v nejteplejší části roku od června do začátku září.

Tab. 6.10 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Velké letní povodně“.

Datum kulminace	Kulminační průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Objem povodňové vlny [mil. m^3]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
12.6.1965	150,0	26,97	C	53,6
25.7.1966	116,0	16,95	Ec	70,7
11.6.1968	145,2	17,41	NEc	73,6
29.7.1968	104,0	16,48	NEc	67,6
22.8.1972	130,0	14,77	C	61,2
2.7.1975	133,8	16,54	NEc	47,9
3.8.1977	180,2	31,18	C	82,4
23.8.1977	178,4	39,18	SWc ₃	60,4
7.9.2007	267	32,71	Ec	138,4

Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 6.13 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.1).

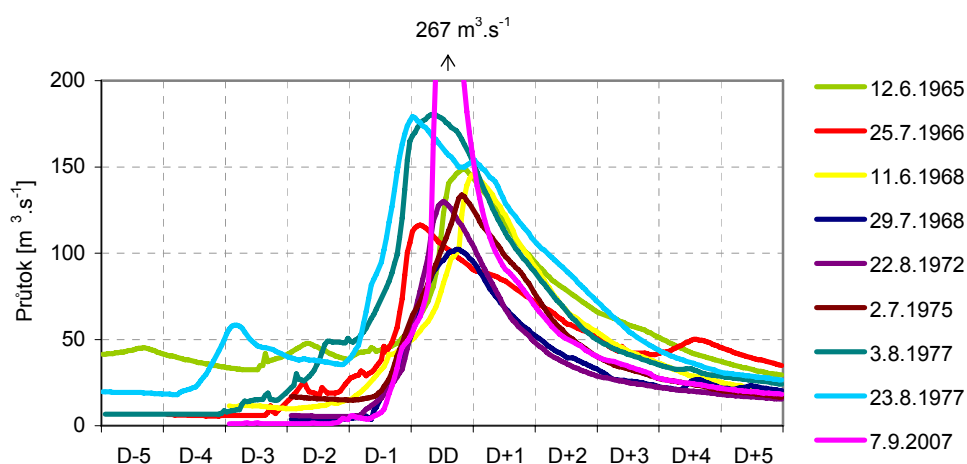
Zdroj dat: ČHMÚ.

Společným znakem povodní v této skupině je rozložení srážek s výrazným orografickým zesílením srážkové činnosti na úpatí Hrubého Jeseníku. Jádro příčinných srážek (Obr. 6.13) bývá situováno do širšího okolí Rejvízu (povodí Černé Opavy a pramenná oblast Opavice), kde také srážky dosahují zpravidla nejvyšších úhrnů. Jádra srážek bývají relativně malá (průměrná míra koncentrace se pohybuje okolo 15 % plochy povodí), protože

se hlavní objem srážek soustředí na poměrně malé ploše. Vznik srážek je nejčastěji vázán na východní až severovýchodní atmosférické proudění spojené s výskytem příčinných povětrnostních situací typu NEC, Ec a C.

Řídící tlakové níže se pohybují z oblasti Středomoří přibližně po dráze Vb a v době vypadávání srážek se nacházejí východně až jihovýchodně od našeho území. Jedinou výjimku představuje epizoda z konce srpna 1977, kdy cyklona postupovala z jihozápadu (povětrnostní typ SWc₃).

Odtokové odezvy Opavy v Opavě se liší u jednotlivých případů této skupiny v předkulminační fázi (Obr. 6.14) a lze je podle tvaru vzestupných větví rozdělit do dvou typů. První typ, k němuž lze přiřadit obě povodně se srpna 1977 (tento měsíc patří k jednomu z nejvodnějších za referenční období 1960 – 2006), dále povodně z června 1965 a z července 1966, které se vyznačují různě velkým podružným maximem v předkulminační fázi a převážně větším průtokem Q_0 v patě povodňové vlny v den D-1. Poté následuje prudký nárůst průtoků a dosažení kulminace. Vytvoření podružné vlny (povodeň na konci srpna 1977) souviselo s vypadáváním srážek ve dni D-4 před kulminací, které značně zvyšovaly nasycenost povodí zasaženého již předcházejícími srážkami. Při druhé vlně srážek došlo k vytvoření hlavní povodňové vlny. Druhý typ povodní (ostatní epizody) je charakterizován jednoduchým tvarem povodňové vlny s relativně menším objemem v porovnání s velikostí dosažené kulminace. Hlavní objem srážek byl soustředěn do dvou dnů a po kulminaci nebyla již pozorována v povodí žádná srážková činnost. Z toho lze usuzovat, že doba trvání těchto povodní bývá kratší s rychlým nárůstem i následným poklesem průtoků.



Obr. 6.14 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Velké letní povodně“. Zdroj dat: ČHMÚ.

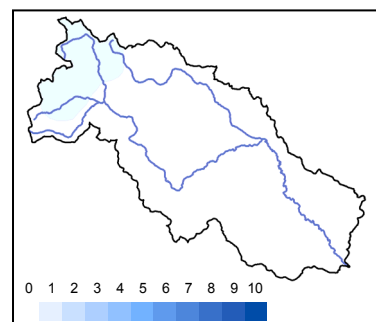
(2.2) Povodeň z července 1997

Povodeň z července 1997 (Tab. 6.11) patří k povodním označeným jako velké letní povodně s orografickým zesílením srážek na úpatí Hrubého Jeseníku, ale v rámci této kategorie dosahuje mimořádně velké kulminace, a proto byla ze studijného hlediska zařazena do samostatné skupiny Lze ji označit za největší přírodní katastrofu v minulém století v povodí Opavy.

Tab. 6.11 Přehled základních charakteristik povodně z července 1997.

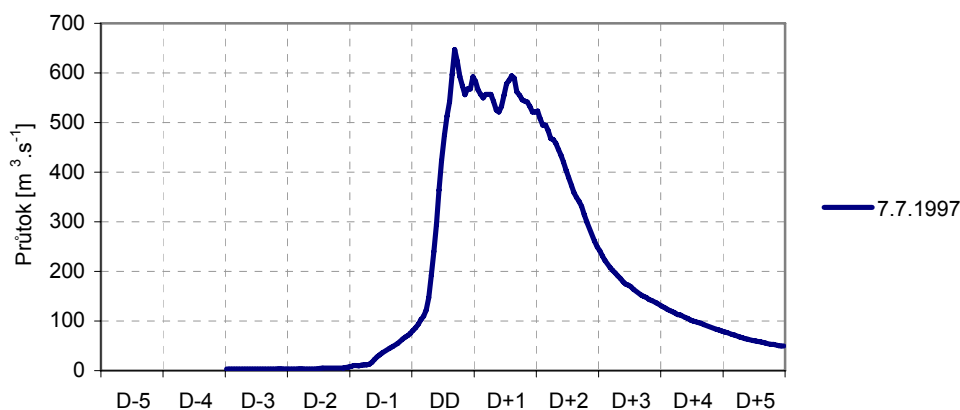
Datum kulminace	Kulminační průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Objem povodňové vlny [mil. m^3]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
7.7.1997	647,0	72,57	NEc	169,1

Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 6.15 Poloha srážkového jádra u povodně kategorie (2.2)
Zdroj dat: ČHMÚ.

Srážkové jádro (Obr. 6.15) podobně jako u kategorie (2.1) leželo v oblasti Hrubého Jeseníku. Nejvyšší srážky byly naměřena na stanici Rejvív (6.července 1997 → 214,2 mm) a představovaly nevyšší hodnotu za dobu pozorování. Hlavní příčinou takto vysokých úhrnů srážek byl postup tlakové níže se Středomoří po dráze Vb, tj. se severní Itálie do jižního Polska. K vypadávání srážek docházelo na studené týlové straně cyklony. Její postup k severovýchodu byl v oblasti jižního Polska ovlivněn tlakovou výší, která ji zablokovala a tlaková níže zde setrvala ve stacionární poloze. To bylo také hlavním příčinou výjimečně dlouhých a vydatných srážek.



Obr. 6.16 Průtoková vlna povodně z července 1997 na Opavě v Opavě.
Zdroj dat: ČHMÚ.

Povodňová vlna z července 1997 neměla v Opavě jednoduchý průběh průtokového hydrogramu (Obr. 6.16). Dvoudenní vydatné srážky způsobily prudký vzestup průtoků. Následně po dosažení kulminačního průtoku povodňová vlna poklesávala s několika podružnými vrcholy, kdy srážky pozvolna ustávaly. V den D+1 došlo k opětovnému nárůstu průtoků, což bylo vyvoláno dalším zvýšením srážek. To vedlo ke zvětšení objemu a prodloužení délky trvání povodňové epizody.

Podrobný popis této povodně je uveden např. *Hladný et. al [1998]*, *Matějček, Hladný [1999]*, *Řehánek [2002]*.

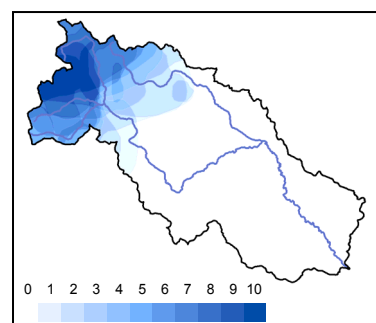
(2.3) Letní povodně s orografickým zesílením srážek

Povodně zařazené do této skupiny jsou podobné povodním první kategorie (2.1), kdy dochází k orografickému zesilování srážek při severovýchodním až východním proudění na svazích Hrubého Jeseníku, ale nedosahují takové extremity, poloha srážkových jader je více diferencována a průběh povodňových vln bývá často složitější. Tato kategorie byla v disponibilním souboru představována celkem 11 povodňovými událostmi (Tab. 6.12) z období od konce května do září.

Tab. 6.12 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Letní povodně s orografickým zesílením srážek“.

Datum kulminace	Kulminační průtok [m ³ .s ⁻¹]	Objem povodňové vlny [mil. m ³]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
27.7.1960	63,9	11,64	C	32,9
14.9.1967	60,0	7,24	Ec	50,0
31.5.1968	51,6	8,97	Ec	39,1
26.8.1968	63,5	12,56	Ec	42,4
19.7.1970	67,1	13,22	B	74,3
22.9.1977	49,8	13,28	Cv	36,9
6.6.1986	81,6	11,10	B	50,0
5.8.1991	75,2	11,07	Ec	39,7
8.9.1996	64,1	7,80	NEc	41,9
22.7.1997	98,4	22,16	NEc	29,2
22.7.2001	82,9	14,11	Bp	45,8

Zdroj dat: ČHMÚ.

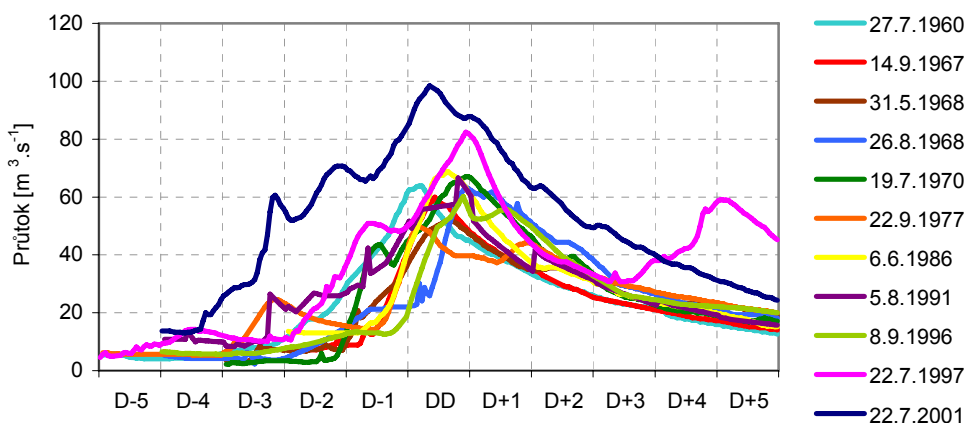


Obr. 6.17 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.3).

Zdroj dat: ČHMÚ.

V poloze srážkových jader lze vysledovat dvě nejvíce postihované oblasti. Jednou lokalitou, kde spadne největší objem srážek, podobně jako u kategorie *Velkých letních povodní*, je povodí Černé Opavy a pramenná oblast Opavice. Tato srážková činnost

je spojována především s povětrnostními situacemi NEc a Ec. Druhá oblast koncentrace srážkových jader je se nachází zpravidla ve vrcholové části Hrubého Jeseníku. Vydátne příčinné srážky souvisely ve většině případů zejména s cyklonou (C) anebo s brázdo nízkého tlaku (B). V těchto případech na naše území proudil ze severu studený vzduch ve výšce a při zemi teplý vzduch ze Středomoří. S touto nerovnoměrností docházelo ke stříhu větru s výškou, což bývá doprovázeno intenzivnějšími srážkami, které vedou obvykle ke vzniku povodňové události. Spojením těchto dvou jader se utvářela jejich výsledná poloha viz (Obr. 6.17).



Obr. 6.18 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Letní povodně s orografickým zesílením srážek“.

Zdroj dat: ČHMÚ.

Odtoková odezva na Opavě v Opavě (Obr. 6.18) se u jednotlivých povodní lišila podle velikosti příčinné srážky, nasycenosti povodí a dalších meteorologických podmínek před a po kulminaci. Ve většině případech šlo o složené povodňové vlny s alespoň dvěma vrcholy, které souvisely s chodem srážek.

(2.4) Letní povodně bez orografického zesílení srážek

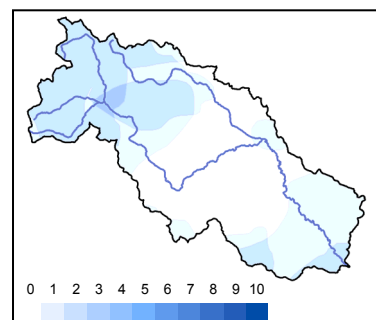
Tato kategorie je reprezentována pěti povodňovými epizodami (Tab. 6.13). Jedná se o povodně, které byly pozorovány především na Opavě v Opavě, na horním toku Opavy po Krnov a na Opavici. Jejich kulminační průtoky ve většině případů nedosahovaly anebo jen mírně převyšovaly hodnotu jednoleté vody (především na Opavě v Krnově). Výskyt těchto povodní je typický pro období od května až do začátku června.

Společným znakem povodní je příčinná povětrnostní situace (brázda nízkého tlaku - B), která měla v analyzovaných povodní hlavní vliv na rozložení srážek v povodí. V kritických dnech se pohybovala jižně až jihovýchodně od území České republiky.

Jak ukazuje Obr. 6.19 prostorové rozložení srážek je velmi rozmanité v rámci celého povodí a oproti předchozím povodňovým kategoriím nedochází obvykle k formování povodňového odtoku na horním povodí. V horských oblastech srážky nedosahují nejvyšších úhrnů a postupové doby povodňových vln bývají často kratší (v závislosti na poloze srážkového jádra v povodí).

Tab. 6.13 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Letní povodně bez orografického zesílení srážek“.

Datum kulminace	Kulminační průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Objem povodňové vlny [mil. m^3]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
15.5.1962	75,0	11,21	B	45,6
2.6.1962	84,0	10,66	B	38,6
17.5.1972	53,2	5,68	B	35,0
8.5.1977	48,2	7,89	B	48,8
2.5.2006	49,1	10,69	B	32,6

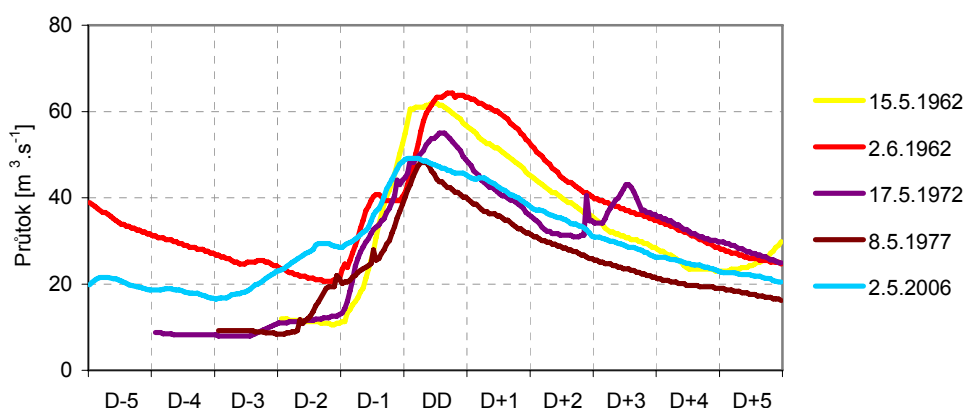


Obr. 6.19 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.4).

Zdroj dat: ČHMÚ.

Zdroj dat: ČHMÚ.

Povodňové vlny (Ob. 6.20) se vyznačují relativně větším průtokem Q_0 v patě vlny, což souvisí s vysokou nasyceností povodí vlivem tání sněhové pokrývky až do pozdního jara. V té době mohou pak i menší srážkové úhrny vyvolat odtokovou odezvu s kulminací okolo jednoletého průtoku. Povodňové hydrogramy se vyznačují delší dobu trvání s velmi pozvolnou poklesovou větví. Srážková činnost pokračovala i v pokulminační fázi a docházelo k poměrně pomalému poklesu průtoků. Dokonce v květnu 1975 se vytvořilo podružné maximum v důsledku další srážkové dotace.



Obr. 6.20 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Letní povodně bez orografického zesílení srážek“.

Zdroj dat: ČHMÚ.

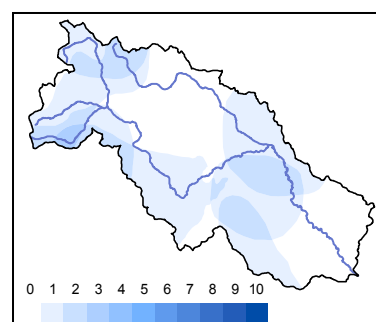
(2.5) Letní povodně z konvekčních bouřek

Letní povodně z krátkodobých přívalových srážek často zasahují pouze jedno nebo několik dílčích povodí Opavy. Přesto, ve výjimečných případech mohou postihovat i plošně rozsáhlejší území. Příkladem je povodeň z května 1996. Ostatní analyzované povodně z přívalových srážek dosahovaly již mnohem menších kulminačních průtoků. Na základě rozložení srážkového pole a tvaru průtokových vln byly do této kategorie zařazeny čtyři povodně (Tab. 6.15), které překročily již kulminací v Opavě hranici jednoleté vody.

Tab. 6.14 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Letní povodně z konvekčních bouřek“

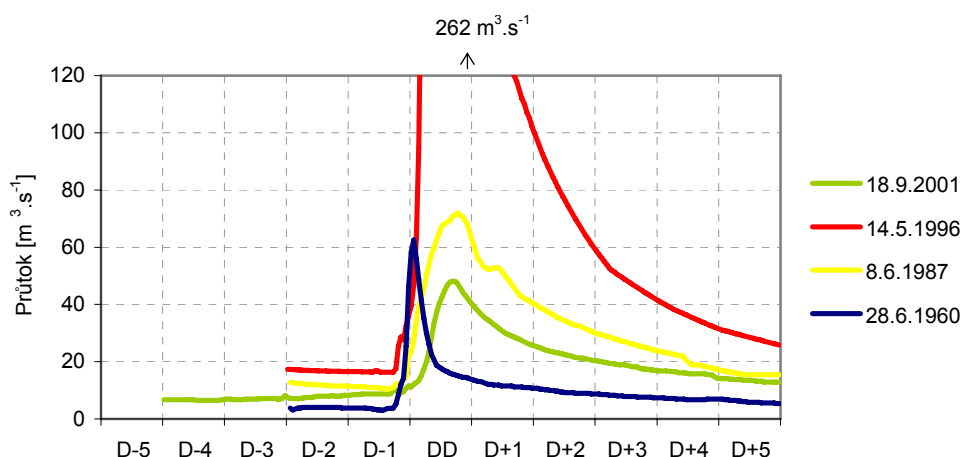
Datum kulminace	Kulminační průtok [m ³ .s ⁻¹]	Objem povodňové vlny [mil. m ³]	Příčinná povětrnostní situace	Příčinná srážka [mm]
28.6.1960	62,5	2,70	B	27,3
8.6.1987	71,9	7,69	SWc ₂	36,7
14.5.1996	262,0	25,08	Ec	73,4
18.9.2001	48,1	3,05	C	35,1

Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 6.21 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.5).

Zdroj dat: ČHMÚ.



Obr. 6.22 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazeny do kategorie „Letní povodně z konvekčních bouří“.

Zdroj dat: ČHMÚ.

Srážková jádra povodní z přívalových srážek ležela ve střední, ale i v horní části povodí (Obr. 6.21). Z čehož je patrné, že nejintenzivnější srážky, které vyvolávají povodeň mohou postihovat téměř jakoukoliv část povodí Opavy. Nejvyšší úhrny srážek byly naměřeny na stanici Lichnic - 100 mm (povodeň 1996), u zbylých povodní se maximální úhrny příčinných srážek pohybovaly okolo 75, resp. 60 mm.

Povodňové vlny (Obr. 6.22) u těchto povodní vykazují rychlý vzestup průtoků, stejně tak i jejich rychlý pokles a proto objemy povodňových vln jsou ve vztahu k velikosti kulminace malé.

7 DISKUSE

Přestože se práce snažila přistupovat k zadanému cíli objektivně s využitím nejvhodnějších možných přístupů, musí být při interpretaci zjištěných výsledků na paměti jistá omezení. Nezanedbatelná je i věrohodnost metodických volených postupů, aby co nejlépe vystihovaly srážko-odtokový proces v povodí, např. výběrem metody variant postupů shlukové analýzy.

Vstupní data

Jistou dávkou neurčitosti u získaných výsledků způsobují vždy omezený rozsah a kvalita stupních dat. K analýze povodňových případů byl použit soubor kulminačních průtoků z databáze ČHMÚ, který byl doplněn o situace uvedené v práci *Kříže et al. [1964]*. Starší data před kontinuálním měřením průtoků, u stanice Opava na Opavě v období 1896-1926 a u obou profilů v Krnově v letech 1899-1952, mohou být zatíženy určitou nehomogenitou. Do té doby existovaly jen záznamy kulminačních vodních stavů, které bylo nutno pomocí různě přesných měrných křivek průtoků převádět na kulminační průtoky, s cílem prodloužit časové řady zpětně do minulosti. To se může projevovat určitým poklesem spolehlivosti zejména při interpretaci a porovnávání kulminačních průtoků v oblastech vysokých vodních stavů. Také docházelo ke změnám polohy vodočtů, např. v roce došlo 1941 k přemístění vodočtu na Opavici v Krnově, kdy do této doby byly průtoky ovlivňovány za velkých vod zpětným vzduťím Opavy [*Kříž et al., 1964*] a tím docházelo k nadhodnocování vodních stavů.

Dalším výrazným limitem při podrobné analýze povodní a při vytváření Katalogu povodní byl časový rozsah poskytnutých dat. Většina klimatická data (srážky, teploty, výška sněhové pokrývky) a hydrologická data (průběh povodňových vln) jsou k dispozici až od roku 1960. Proto muselo být za referenční období k vytvoření Katalogu vybrán relativně krátký interval 47 let (1960-2007).

Příprava dat

Příprava dat, s nimi spojený výběr vhodné interpolační metody a určení průměrné hodnoty uvažovaných veličin na ploše povodí, jsou rovněž důležitými kroky, ovlivňujícími kvalitu výsledků.

Přepočet bodových srážkových, teplotních a sněhových charakteristik na plošné veličiny proběhl v nadstavbách ArcGIS. Pro interpolaci v práci byla použita tzv. *Orografická interpolace srážek* [*Šercl, Lett, 2002*], která se ukazuje pro výpočet plošných

srážek z bodových hodnot v denním kroku, v případě trvalých srážek s orografickým zesílením, jako vhodnější metoda než např. IDW (metoda inverzně vyjádřených vzdáleností) a metoda ordinálního krigingu (případně *Topo to raster*), které nezohledňují vliv orografie [Šercl, 2008]. V povodí Opavy bývají srážky, které vedou ke vzniku povodní, často orograficky zesílené a proto byla dána přednost metodě ČHMÚ, která zohledňuje vliv nadmořské výšky. U přívalových srážek, může však docházet k mírnému nadhodnocení hodnot s rostoucí nadmořskou výškou. V tomto případě by bylo jistě vhodnější v dalším výzkumu využít radarových měření k odhadu plošné srážky [Řezáčová, 2003].

Sezonalita povodní

K určení režimu povodní je důležité zvolit vhodné statistické charakteristiky, které jsou schopny vystihnout nejdůležitější rysy v jejich výskytu. Ovšem žádná z disponibilních statistických charakteristik není univerzální, proto existuje celá řada různých metod. V práci byla použita především metoda polárních grafů, která i přes svou jednoduchost dobře vystihuje sezonalitu povodňového režimu v měsíčním kroku.

Práce potvrdila již známý fakt, že v celém povodí Odry, tedy i v povodí Opavy, převládá letní povodňový režim a zimní povodně se zde vyskytují jen ojediněle. Tím se také povodí Odry výrazně odlišuje od povodí ostatních velkých toků v České republice. Přesto se v rámci těchto povodí najdou i další lokality, ve kterých také převládají letní povodně, např. v povodí Blanice [Vlasák, 2006]. Podobně jako v povodí Opavy, jednou z hlavních příčin absence zimních povodní je poloha povodí a rozložení horských pásem a jejich interakce s pohybem vzduchových hmot přinášejících srážky.

Synoptické situace

Synoptické situace byly analyzovány pomocí Katalogu HMÚ [Brádka et al, 1961]. A to i přes jeho nedostatky, které souvisí s tím, že Katalog byl navržen pro jevy v makroměřítku. Jeho značnou výhodou je však skutečnost, že povětrnostní situace jsou podle něj nepřetržitě aktualizovány a že již dříve byl využit v jiných studiích, což umožňuje následné porovnávání dosažených výsledků v rámci jednotlivých povodí České republiky.

Rozbor příčinných povětrnostních situací potvrdil analýzu provedenou Brádkou [1967] ve Slezsku. I v této práci bylo zjištěno, že v letním půlroce bylo téměř 93 % povodňových případů vyvoláno povětrnostními situacemi typu B, C, NEc a Ec. Jedná se o situace, při kterých jsou příznačné vysoké úhrny srážek v oblasti Hrubého Jeseníku a že tam dochází k jejich výraznému orografickému zesilování. Brádka [1967] však zároveň

poukázal na fakt, že dané typy se vyskytují mnohem častěji než je pozorovaný výskyt zvětšených průtoků a že tyto situace vyvolávají povodeň jen za určitých podmínek. O nástupu těchto situací zjištěných pomocí tohoto klasifikačního systému využívat jej jako orientační upozornění, které je nutno vždy doplnit aktuální hydrometeorologickou analýzou či výstupy z předpovědních modelů.

Dále byly hodnoceny trajektorie postupu tlakových níží. Především v letním období bylo obtížnější určit střed tlakové níže středomořského původu, a to zejména když se tlakové pole při zemi často liší od tlakového pole ve výšce, která mají větší vliv na pohyb vlhkosti vzduchu. A právě velké povodně v povodí Opavy jsou spojovány s postupem těchto cyklon severovýchodním směrem do oblasti Polska tzv. po dráze Vb, na její nebezpečnost ve vztahu ke vzniku povodní ve Slezsku upozornil již *Brádka* [1967], *Kakos* [1974].

Kategorizace povodňových epizod

Srážko-odtokový proces v krajině je mnohem složitější než jak byl popsán pomocí proměnných při kategorizace povodňových epizod. Prokázalo se při tom, jak důležitou roli hraje výběr proměnných, které tyto procesy popisují.

Výsledná shluková analýza (metoda aglomerativního hierarchického shlukování) závisí vedle výběru zvolených vstupních proměnných, také na metodické variantě shlukování. V této práci byl použit metodický přístup shlukování nejvzdálenějšího souseda, která nejlépe vystihovala míru spojení v rámci kategorií. Jiní autoři např. *Jurgvirtová* [2005], *Čekal*, *Hladný* [2009] používali dendogramu odvozeného Wardovou metodou, která je považována obecně za nejlepší metodu [*Hendl*, 2004]. V tomto případě se jevila však jako méně vhodná, protože postup podle nejvzdálenějšího souseda více odpovídal korelační matici a prokazoval lepší logické vazby mezi proměnnými dané skupiny.

Některé parametry se nedaly statisticky postihnout, proto byla kategorizace ovlivněna i subjektivním porovnáním.

Při výsledné kategorizaci bylo nutné přistoupit k určitému stupni zobecnění, aby mohly být rozlišeny jednotlivé typy povodní. U některých průběhů povodňových vln i v rámci jedné skupiny byly pozorovány drobné rozdíly, kdy větší důraz byl kladen na rozložení srážkového jádra, maximální dvoudenní příčinnou srážku a kulminaci než na tvar povodňové vlny.

8 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala studiem povodňového mechanismu v povodí Opavy z několika různých hledisek. Bylo vypracováno hodnocení sezónního režimu výskytu povodní a jeho příčin, vyplývajících z fyzickogeografických podmínek povodí za posledních přibližně 100let (1896-2007). U 45 případů povodňových vln, přesahujících hodnotu jednoleté vody v referenčním období 1960-2007, byla provedena podrobnější analýza s využitím dalších hydrologických a meteorologických podkladů. Atmosférické příčiny povodní byly studovány prostřednictvím povětrnostních typů cirkulačních podmínek, prostorového rozložení srážek a polohy srážkového jádra. Hlavní pozornost byla při tom věnována vztahům mezi atmosférickými podmínkami a vznikem povodní především v souvislosti s časovým a prostorovým rozložením příčinných srážek. V závěru byla vytvořena kategorizace povodňových případů na základě dosažených výsledků a byly popsány společné znaky mechanismu vzniku srážko-odtokových situací v rámci jednotlivých skupin.

Ze souboru povodňových epizod byly pomocí různých metodických přístupů odvozeny následující poznatky:

- V povodí Opavy po profil Opava převládají povodně v letním hydrologickém půlroce. Tato asymetrie se s rostoucí velikostí kulminačního průtoku ještě více prohlubuje.
- Sezónní režim povodní na Opavě je výrazně ovlivněn zeměpisnou polohou povodí a jeho fyzickogeografickými podmínkami. Velká četnost povodní v letním období je spojena s vydatnými dešti často vázanými na proudění vzduchu ze severního kvadrantu, při kterém velkou roli hraje specifické orografické uspořádání Hrubého Jeseníku, kde na severovýchodních svazích dochází k výraznému zesilování srážek návětrným efektem. Naproti tomu v zimním období jsou dešťové srážky spojeny se západní až jihozápadní složkou proudění teplého vzduchu od Atlantiku. Při těchto situacích leží povodí Opavy ve srážkovém stínu Hrubého Jeseníku, srážky dosahují poměrně malých úhrnů a často jejich největší objem vypadává ve vrcholové části hor, kde obvykle leží i mocnější vrstva sněhové pokrývky, která tyto srážky spíše zadržuje.
- Povodí Opavy je málo citlivé na výskyt povodní způsobených převážně táním sněhové pokrývky. Za sledované období bylo jen u pěti případů povodní identifikován převažující vliv tání sněhové pokrývky s charakteristickým tvarem

a diurnálním vlněním hydrogramu (odrážejícím denní chod teplot). Ve většině případů byly tyto povodně doprovázeny méně vydatnými dešťovými srážkami. Velká výšková členitost povodí zabraňuje, aby k plnému tání sněhové pokrývky docházelo naráz na jeho celkové ploše.

- V posledním půlstoletí došlo v povodí Opavy k nepatrnému poklesu celkového počtu povodní, avšak k mírnému nárůstu extremity kulminačních průtoků (u případů nad 10letou vodou přibližně o 20 %) oproti první polovině 20. století.
- U povodní nepřesahujících hodnotu dvouleté vody došlo ke snížení jejich počtu (výjimku představuje profil Opava-Krnov).
- V dlouhodobém sledování je patrný přesun letního maxima z května do června, kdy jsou také obvykle měřeny nejvyšší srážkové úhrny. V zimním období je pozorována absence povodňových případů s výjimkou března a dubna. Celkově došlo k prodloužení období povodňového klidu v zimním období (říjen - únor).
- Maximální kulminační průtoky jsou dosahovány především v obdobích se zvýšenou četností povodní (květen až září s maximem v červenci). Ojedinelý výskyt extrémních povodní však není možné vyloučit ani v ostatních měsících.
- Na vzniku letních povodní se podílejí jiné typy atmosférické cirkulace než v zimním období. V letním půlroce povodně nejčastěji vznikají při cyklonálních situacích (NEc, Ec a C) a brázdě nízkého tlaku (B), přibližně v 93 % případů. U zimních povodní se povodí Opavy nachází převážně v silném proudění se západní směrovou složkou, které je charakteristické pro synoptické situace typu Wc, Wcs a SWc_{2,3}. Ostatní epizody (přibližně 40 % případů) probíhají ve spojitosti s cirkulačními typy s jižní složkou proudění (C, B a Bp). Celkově šlo u těchto případů především o povodně z konce jara a povodně v listopadu, jejichž hlavní příčinou vzniku je vypadávání dešťových srážek.
- Časový předstih fyzikálních symptomů atmosférické cirkulace před výskytem kulminace se pohybuje okolo jednoho až dvou dnů před kulminací (příčinná povětrnostní situace).
- Srážková jádra v letním půlroce u většiny případů leží na úpatí Hrubého Jeseníku, kdy jsou často tyto srážky vlivem orografie zesilovány. V zimním období se jejich poloha více posouvá do vrcholové části pohoří.

- Srážková jádra vyvolaná příčinnými povětrnostními situacemi typu C a NEc bývají poměrně malá a jsou výrazně koncentrována do oblasti Hrubého Jeseníku. Naopak poloha srážkových jader u situace typu B jsou rozptýleny v povodí.
- Kategorizací povodňových vln byly vymezeny čtyři zimní a pět letních skupinových typů povodní, které se co nejvíce podobají na základě společných znaků.
- Zimní povodně nedosahují velké extremity. Největší kulminační průtoky jen lehce přesahují hodnotu dvouleté vody (od roku 1960). Vznik povodní se nejčastěji váže na postup tlakových níží od západu situovaných severně od našeho území. Jižně od trajektorií těchto příčinných cyklon dochází k přechodu frontálních systémů (často opakovaně) s prouděním, které vyvolává srážky. Ty ovšem v povodí Opavy často dosahují malých úhrnů.
- U velkých letních povodní je průběh cyklonálních situací spojován s postupem obvykle po dráze Vb, ze severní Itálie do jižního Polska. Při těchto situacích nejvyšší úhrny vypadávají v týlové části tlakové níže, západně od jejího středu. Srážkové jádro leží v oblasti Hrubého Jeseníku, kde dochází k orografickému zesilování srážek.
- Povodně z příválových srážek z konvekční oblačnosti v povodí Opavy vykazovaly relativně menší četnost výskytu. Přesto ve výjimečných situacích mohou představovat významné nebezpečí jak prokazují případy např. z května 1996 nebo aktuálně z června 2009. Protože je třeba jim věnovat v protipovodňové ochraně stejnou pozornost jako povodním vzniklým z povětrnostních podmínek cyklonálního a frontálního původu.

Uvedené poznatky mohou posloužit jako užitečný podklad pro moderní potřeby protipovodňové ochrany v povodí Opavy a hydrologické předpovědní a výstražné služby. Rozšiřuje také základ pro další výzkum povodňového režimu zejména vypracovaným *Katalogem povodňových situací* v tomto povodí.

V souvislosti se zvyšujícími se povodňovými škodami a hrozícím nebezpečím pro životní prostředí se dá předpokládat, že na řešení problematiky povodní bude soustředěna stále větší pozornost. Bude zde uplatňována zřejmě snaha propojit více předpovědní modely s konkrétními poznatky z jednotlivých povodí a dosažené výsledky využít pro systémové plánování protipovodňových opatření jako o to usiluje Evropská unie. Studie příčin povodňového zatížení krajiny v povodí Opavy, jejíž poznatky jsou obsahem této práce, by taktéž mohla být menším přínosem i pro naplňování těchto záměrů.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

9.1 Literatura

- Brádka, J. (1967): Meteorologické příčiny povodní ve Slezsku. Meteorologické správy 20, č. 1, Praha, s. 3-9.
- Brádka, J. (1972): Srážky na území ČSSR při jednotlivých typech povětrnostní situace. Sborník prací HMÚ 18, Praha, s. 8-62.
- Brádka, J., Dřevíkovský, A., Gregor, Z., Kolesár, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. HMÚ, Praha, 31 s.
- Brázdil, R. et al. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita, Brno, 369 s.
- Brázdil, R., Kirchner, K. et al. (2007): Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita, Brno, 431 s.
- Brázdil, R., Štekl, J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyně v Brně, PřF, Brno, 298 s.
- Brosch, O. (2005): Povodí Odry. Povodí Odry a. s., Ostrava, 324 s.
- Cahynová, M., Huth, R. (2007): Trendy v kalendáři povětrnostních situací HMÚ/ČHMÚ v období 1946-2002. Meteorologické zprávy, 60, č.6, s. 175-182.
- Culek, M. et al. (1996): Biogeografické členění České Republiky. MŽP ČR, Praha, 347 s.
- Čekal, R. (2005): Hydrosynoptická analýza povodňových situací v povodí horní Ohře. Disertační práce, PřF UK, Praha, 220 s.
- Čekal, R., Hladný, J. (2009): Metody regionalizace sezónního výskytu povodní. Vodní hospodářství – Vodař, 59, č.4, Praha, s. 143-147.
- Čermák, M. (1968): Základní činitelé ovlivňující odtok velkých vod. Sborník prací HMÚ ČSSR 12, Praha, s. 5-42.
- Demek, J. et al. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. AOPK ČR, Brno, 580 s.
- Demek, J. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 s.
- Demek, J. et al. (1965): Geomorfologie českých zemí. ČSAV, Praha, 335 s.
- Doležal, F., Kříž, V., Sochorec, R. (1976): Hydrologické vyhodnocení povodně ze srpna 1972 v povodí Odry. Sborník prací HMÚ ČSSR 23, Praha, s. 9-40.
- Duckstein, L., Bárdossy, A., Bogárdi, I. (1992): Fuzzy Rule Based Classification of Atmospheric Circulation Patterns. International Journal of Climatology 15, p. 1087-1097.
- EU: Rámcová směrnice č. 207/60/ES o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik. EI, Brusel.
- Hendl, J. (2004): Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat. Portál, 584 s.

- Hirschboeck, K. K., Ely, L. L., Maddox, R. A. (2000): Hydroclimatology of meteorologic foods. In: Inland Flood Hazards – Human, Riparian, and Aquatic Communities. Cambridge University Press, New York, p. 39-72.
- Hladný, J. (1995): Odhad vývoje povodňových situací analýzou historických případů. In: Povodňová ochrana na Labi, ČHMÚ, MŽP, Povodí Labe, Ústí nad Labem, s. 161-183.
- Hladný, J., Blažek, V., Dvořák, V., Kubát, J., Švihla, V. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997 – souhrnná zpráva projektu. MŽP, Praha, 163 s.
- Hladný, J. (1962): Některé poznámky k problematice parametrů srážko-odtokových vztahů. In: Sborník mezinárodní hydrologické konference Slovenské akademie věd a Ústavu hydrologie a hydrauliky, Bratislava, 20-1 až 20-11.
- Hošek, A., Koblihová, E., Sochorec, R. (1988): Hydrologické vyhodnocení povodně v srpnu 1985 na tocích Severomoravského kraje. Sborník prací ČHMÚ 33, Praha, s. 42-64.
- Huth, R., Buchtele, J. (2003): Typy atmosférické cirkulace spojené s povodňovými událostmi. In: Patera, A. et al. (ed.): Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČHMÚ. Praha. 271-277 s.
- Chalušová, J. (2004): Vliv fyzickogeografických faktorů na časový a prostorový výskyt povodní v povodí Labe. Disertační práce, PřF UK, Praha, 133 s.
- Jurgvirtová, E. (2005): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Sázavy. Magisterská práce, PřF UK, Praha, 118 s.
- Kakos, V. (1974): Možnosti hydrometeorologických předpovědí havarijních odtokových situací. Sborník prací HMÚ 21, HMÚ, Praha, s. 55-85.
- Kakos, V. (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873 až 1982. Meteorologické zprávy, 36, s. 171-181.
- Kakos, V. (2001): Maximální srážky na území České republiky z pohledu synoptické meteorologie. In: Vývoj metod pro odhad extrémních povodní. ČVTVHS, ČNVH, ČHMÚ, Praha, s. 46-60.
- Koblihová, E. (1989): Možnosti využití hydrosynoptických vztahů pro předpověď povodní na Odře v Bohumíně. Meteorologické zprávy, 42, s. 168-172.
- Kolektiv ČHMÚ (2006): Typizace povětrnostních situací pro území České republiky. ČHMÚ, Praha. [<http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/kalendar.html> - 5. 7. 2008].
- Královec, V. (2009): Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Opavy. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 124 s.
- Křivancová, S., Vavruška, F. (1997): Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961-1990. Národní klimatický program ČR, sv. 27, ČHMÚ, Praha, 114 s.
- Kříž, V., Sochorec, R. (1963): Hydrologické vyhodnocení povodně z července 1960 v povodí Odry. HMÚ, Praha, 72 s.

- Kříž, V., Sochorec, R. Kříž, H. (1964): Opakování velkých vod v povodí Odry. Sborník prací HMÚ ČSSR 5, Praha, 132 s.
- Langhammer, J. (2004): Změny přírodního prostředí jako indikátor povodňového rizika. In: Němec, J. et al. Krajinnotvorné programy, MŽP ČR, Praha, s. 31-46.
- Langhammer, J. et al. (2008): Změny v krajině a povodňové riziko. PřF UK, Praha. 283 s.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H. (1949): Applied hydrology. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 689 p.
- Matějček, J., Hladný, J. (1999): Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky. MŽP, Praha, 60 s.
- Müller, M. (2007): Hydrometeorologické podmínky vzniku významných dešťových povodní na území ČR. Disertační práce, PřF UK, Praha, 125 s.
- Munzar, J., Ondráček, S. (2005): Velké povodně na Odře v 19. a počátku 20. století a jejich impakty. In: Hydrologické dny 2005, ČHMÚ, Praha, s. 564-569.
- Prudký, J. (2003): Analýza přirozené retence vody v povodí řeky Opavy při povodni povodni v červenci 1997. Acta Hydrologica Slovaca 4, č. 2, Ústav hydrológie SAV Bratislava, Bratislava, s. 248-254.
- Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica 16, Brno, 73 s.
- Rodda, J. C. (1969): Short-term Runoff Patterns. In: Chorey, R. J. et al.: Wagner, Earth, and Man. Methuen & Co Ltd. London. p. 405-454.
- Řehánek, T. (2002): Povodeň na řece Odře v červenci 1997. Práce a studie, sešit 31, ČHMÚ, Praha, 41 s.
- Řehánek, T. (2005): Analýza významných povodní v povodí Odry. In: Hydrologické dny 2005, ČHMÚ, Praha, s. 578-584.
- Rezáčová, D., Sokol, Z., Pešice, P. (2003): Odhad bodových i plošných srážek s využitím srážkoměrných a radarových dat. Meteorologické zprávy, 56, č.1, s. 1-12.
- Stehlík, J. (2002): Objektivní klasifikace cirkulačních typů pro území České republiky. Meteorologické zprávy 55, č. 1, Praha, s. 40-49.
- Šamaj, F., Valovi, V., Brázdil, R. (1983): Extrémné denné úhrny atmosférických zrážím v ČSSR. Meteorologické zprávy 55, č. 2., Praha, s. 14-21.
- Štekl, J., Brázdil, R., Kakos, V., Jež, J., Tolasz, R., Sokol, Z. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny. Národní klimatický program České republiky, sv.31, ČHMÚ, Praha, 140 s.
- Štěpánková, R. (2004): Vliv fyzicko-geografického prostředí na vznik a vývoj povodní v povodí Berouny. Disertační práce, Přf. UK, Praha, 178 s.
- Šercl, P., Lett, P. (2002): Výpočet rastru srážek v prostředí GIS. Uživatelská příručka. ČHMÚ. Praha. 8 s.
- Šercl, P. (2008): Hodnocení metod odhadu plošných srážek. Meteorologické zprávy, 61, č.2, s. 33-43.

- Šmídová, J. (2006): Povodňové situace v povodí Opavy. Bakalářská práce, PřF UK, Praha, 81 s.
- Tolasz, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, Praha, 256 s.
- Tomášek, M. (2000): Půdy České republiky. ČGS, Praha, 67 s.
- Vavruška, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorologické zprávy, 42, č.4
- Vilímek, V. (2006): Floods in the Context of Natural Hazards and Risks. Acta Universitatis Carolinae, Geographica 38, č.2, 2003, UK, Praha, s. 5-18.
- Vlasák, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce, PřF UK, Praha, 94 s.
- Wehry, W. (1968): Synoptisch-statistische Untersuchungen zu Starkregen-Wetterlagen in Mitteleuropa. Meteorologische Abhandlungen 86, č. 3, s. 1-88.
- Wilson, L.L., Lettenmaier, D.P., Skillingstad, E. (1992): A hierarchical scholastic model of large scale atmospheric circulation patterns and multiple station daily rainfall. Journal of Geophysical Research 97, p. 2791-2809.

9.2 Mapové a datové podklady

- CORINE Land Cover. MŽP. Praha. 2000.
- DMÚ-25. VGHMÚř. Dobruška. 2004.
- Klimatologická databáze ČHMÚ - CLIDATA. Praha. 2007.
- Hydrologická databáze ČHMÚ. Praha. 2007.
- Portál veřejné správy České republiky. CENIA – mapové služby. Praha. 2006. [<http://geoportal.cenia.cz/mapmaker/cenia/portal> – 7.8.2006]
- ZABAGED. ČÚZK. Praha. 2006.
- ZVM. VÚV TGM. Praha, 2003.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH

10.1 Obrázky

Obr. 2.1	Prvky průtokové vlny	11
Obr. 2.2	Schéma vybraných synoptických situací podle typizace HMÚ	17
Obr. 2.3	Průměrné normalizované anomálie přízemního tlaku vzduchu pro tři cirkulační typy	18
Obr. 2.4	Trajektorie cyklon (šrafovaně) a oblast kvazistacionárních cyklon (tečkovaně)	19
Obr. 2.5	Četnosti výskytu povodní na řece Opavě v Opavě v 16.-19. století	22
Obr. 3.1	Modelové území povodí Opavy po profil Opava.....	23
Obr. 3.2	Geomorfologické členění povodí Opavy	24
Obr. 3.3	Hypsografická křivka a průměrná nadmořská výška povodí Opavy.	26
Obr. 3.4	Podélný výškový profil Opavy a jejích přítoků	26
Obr. 3.5	Sklonitostní poměry a orientace svahů v povodí Opavy.....	27
Obr. 3.6	Geologická stavba povodí Opavy	28
Obr. 3.7	Půdní typy povodí Opavy	29
Obr. 3.8	Klimatické oblasti povodí Opavy	31
Obr. 3.9	Průměrný roční úhrn srážek a měsíční průměrné srážky a teploty na vybraných stanicích.	32
Obr. 3.10	Průměrná roční teplota vzduchu a průměrná roční výška sněhové pokrývky.....	34
Obr. 3.11	Opava v Opavě.....	35
Obr. 3.12	Opavice před Městem Albrechtice.....	35
Obr. 3.13	Kruhový graf vývoje povodí.....	36
Obr. 3.14	Průměrná hustota říční sítě a hydrografická síť	37
Obr. 3.15	Dlouhodobé měsíční průtoky (Qm) a roční průtoky (Qa) v období 1960-2007 na vybraných profilech v povodí řeky Opavy	38
Obr. 3.16	Podíl dlouhodobých měsíčních průtoků na ročních průtocích (Qm) v období 1960-2007 na vybraných profilech v povodí řeky Opavy	38
Obr. 3.17	Krajinný pokryv povodí Opavy	39
Obr. 4.1	Meteorologické a limnigrafické stanice ČHMÚ v povodí Opavy a v jeho okolí.....	42
Obr. 5.1	Chod povodní na Opavě v Opavě v období 1960-2007 podle průtoků a sezonního výskytu	46
Obr. 5.2	Četnost výskytu povodní podle jejich kulminačního průtoku na vybraných stanicích v povodí Opavy v období 1896-2007	47
Obr. 5.3	Typy povodní v zimním hydrologickém půlroce v povodí Opavy v Opavě v období 1960- 2007.....	50
Obr. 5.4	Ukázka polárního grafu s popisy os.....	51
Obr. 5.5	Sezonalita výskytu povodní přesahující jednoletý (Q1), dvouletý (Q2) a pětiletý (Q5) průtok na vybraných stanicích v povodí Opavy v období 1896-2007.....	53
Obr. 5.6	Dlouhodobé změny sezonality výskytu povodní přesahující jednoletý průtok (Q ₁) na vybraných stanicích v povodí Opavy v 50letých intervalech v období 1896-2007, (.....	55
Obr. 5.7	Sezonní rozložení maximálních a průměrných kulminačních průtoků [m ³ .s ⁻¹] na vybraných stanicích v povodí Opavy v 50letých intervalech v období 1896-2007.....	57
Obr. 5.8	Součtové čáry výskytu povodní na vybraných stanicích v povodí Opavy v období 1896- 2007.....	59

Obr. 5.9 Relativní četnost výskytu typu povětrnostní situace a příčinného typu během povodní na Opavě v Opavě v období 1960-2007	61
Obr. 5.10 Relativní četnost výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+2 během povodní na Opavě v Opavě v LHP v období 1960-2007	62
Obr. 5.11 Relativní četnost výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+2 během povodní na Opavě v Opavě v ZHP v období 1960-2007	63
Obr. 5.12 Průběh povodňového indexu ID pro příčinné synoptické situace, které nejvíce přispívají ke vzniku povodní v letním a zimním půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007	67
Obr. 5.13 Průměrné denní úhrny srážek v předkulminační fázi povodní při daných příčinných povětrnostních situacích v LHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007	68
Obr. 5.14 Průměrné denní úhrny srážek v předkulminační fázi povodní při daných příčinných povětrnostních situacích v ZHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007	69
Obr. 5.15 Průměrná teplota vzduchu a výška sněhové pokrývky v předkulminační fázi povodní při daných příčinných povětrnostních situacích v ZHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007	69
Obr. 5.16 Poloha a trajektorie středů řídících tlakových níží před povodněmi v LHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007	70
Obr. 5.17 Poloha a trajektorie středů řídících tlakových níží před povodněmi s kulminačním průtokem nad 2letou vodu (Q2) v LHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007	71
Obr. 5.18 Poloha a trajektorie středů řídících tlakových níží před povodněmi s kulminačním průtokem v ZHP na Opavě v Opavě v období 1960-2007	71
Obr. 5.19 Vztah mezi dvoudenní příčinnou srážkou na povodí Opavy a kulminačním průtokem v Opavě v HLP a ZHP v období 1960-2007	73
Obr. 5.20 Průměrná poloha srážkového jádra (SJ) při povodních v povodí Opavy po profil Opava za LHP, ZHP a celé referenční období 1960-2007	74
Obr. 5.21 Poloha srážkových jader s koncentrací 25 % celkového objemu srážek u příčinných povětrnostních typů povodní v povodí Opavy v Opavě v období 1960 - 2007	76
Obr. 6.1 Dendrogram proměnných - parametrů povodňových událostí pro zimní hydrologický půlrok	81
Obr. 6.2 Dendrogram proměnných - parametrů povodňových událostí pro letní hydrologický půlrok	82
Obr. 6.3 Dendrogram zimních povodní	83
Obr. 6.4 Dendrogram letních povodní	84
Obr. 6.5 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.1)	89
Obr. 6.6 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu“	89
Obr. 6.7 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.2)	90
Obr. 6.8 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Jarní smíšené povodně“	90
Obr. 6.9 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.3)	91
Obr. 6.10 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Jarní a zimní dešťové povodně“	92
Obr. 6.11 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (1.4)	93
Obr. 6.12 Průtoková vlna na Opavě v Opavě zařazená do kategorie „Podzimní dešťové povodně“	93
Obr. 6.13 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.1)	94
Obr. 6.14 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Velké letní povodně“	95
Obr. 6.15 Poloha srážkového jádra u povodně kategorie (2.2)	96

Obr. 6.16 Průtoková vlna povodně z července 1997 na Opavě v Opavě	96
Obr. 6.17 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.3).....	97
Obr. 6.18 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Letní povodně s orografickým zesílením srážek“	98
Obr. 6.19 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.4).....	99
Obr. 6.20 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Letní povodně bez orografického zesílení srážek“	99
Obr. 6.21 Nejčastější poloha srážkového jádra u povodní kategorie (2.5).....	100
Obr. 6.22 Průtokové vlny na Opavě v Opavě zařazené do kategorie „Letní povodně z konvekčních bouří“	100

10.2 Tabulky

Tab. 2.1 Přehled dosažitelných údajů historických povodních v povodí Opavy (15.-19. století).....	20
Tab. 3.1 Charakteristika klimatických oblastí v povodí Opavy	30
Tab. 3.2 Vybrané hydrologické charakteristiky Opavy a jejích přítoků	35
Tab. 4.1 Zvolené prahové průtoky a počet povodňových případů na vybraných profilech v povodí řeky Opavy v období 1896-2007	41
Tab. 5.1 Vybrané charakteristiky a typ povodní v ZHP v povodí Opavy v Opavě v období 1960-2007	49
Tab. 5.2 Typy povětrnostních situací a jejich počet při letních povodních za období 1960-2007	65
Tab. 5.3 Typy povětrnostních situací a jejich počet při zimních povodních za období 1960-2007	66
Tab. 5.4 Přehled typů povětrnostních situací podle klasifikace ČHMÚ	66
Tab. 6.1 Korelační matice pro proměnné v zimním hydrologickém půlroce.....	79
Tab. 6.2 Korelační matice pro proměnné v letním hydrologickém půlroce.....	79
Tab. 6.3 Vybrané proměnné parametry pro shlukovou analýzu povodní	83
Tab. 6.4 Povodňový index pro povodně v zimním hydrologickém půlroce	85
Tab. 6.5 Povodňový index pro povodně v letním hydrologickém půlroce	85
Tab. 6.6 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu“	89
Tab. 6.7 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Zimní a jarní smíšené povodně“	90
Tab. 6.8 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Jarní a zimní dešťové povodně“	91
Tab. 6.9 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Podzimní dešťové povodně“	93
Tab. 6.10 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Velké letní povodně“	94
Tab. 6.11 Přehled základních charakteristik povodně z července 1997.....	96
Tab. 6.12 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Letní povodně s orografickým zesílením srážek“	97
Tab. 6.13 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Letní povodně bez orografického zesílení srážek“	99
Tab. 6.14 Přehled základních charakteristik povodní zařazených do kategorie „Letní povodně z konvekčních bouří“	100

10.3 Přílohy

Příloha I Kulminační průtok a sled typů povětrnostních situací podle Brádky et al. [1961] u povodní na Opavě v Opavě v období 1960-2007

Příloha II Index ID pro dané příčinné povětrnostních situacích v letním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Příloha III Index ID pro dané příčinné povětrnostních situacích v zimním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Příloha IV Průměrné denní úhrn srážek při daných příčinných povětrnostních situacích v letním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007

Příloha V Průměrné denní úhrn srážek při daných příčinných povětrnostních situacích v zimním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007

Příloha VI Katalog povodní na Opavě v Opavě v letech 1960-2007

PŘÍLOHY

*Příloha I Kulminační průtok a sled typů povětrnostních situací podle Brádky et al. [1961]
u povodní na Opavě v Opavě v období 1960-2007.*

Datum kulminace	Kulminační průtok	Typy výskytu povětrnostních situací ve dnech									
		D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2
28.6.1960	62,5	Nc	NEa	NEa	NEa	NEa	B	B	B	B	B
27.7.1960	63,9	SWc ₃	SWc ₃	C	C	C	C	C	C	C	Sa
1.4.1962	59,2	Ap ₂	Ap ₂	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Ap ₂
6.4.1962	59,5	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Ap ₂	B	B	B	B	B
15.5.1962	75,0	Vfz	Vfz	Vfz	B	B	B	B	B	Wc	Wc
2.6.1962	84,0	B	B	B	B	B	B	B	B	B	NEc
13.3.1963	78,1	Wa	Wa	Wa	Wa	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Ea	Ea
17.3.1965	71,8	A	A	A	A	SWa	SWa	Wc	Wc	Wc	Wc
23.4.1965	57,5	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C
30.5.1965*	82,2	SEc	SEc	Vfz	Vfz	B	B	B	B	B	B
12.6.1965	150,0	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Wal
25.7.1966	116,0	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	B	B
14.9.1967	60,0	B	B	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec
31.5.1968	51,6	Ea	Ea	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ea	Ea
11.6.1968	145,2	Ea	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	NEc	NEc	NEc	NEc	Ea
29.7.1968	104,0	Nc	Nc	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa
26.8.1968	63,5	SWc ₂	Ap ₁	Ap ₁	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec
2.4.1969	53,5	Ec	Ec	Ec	Ec	Wc	Wc	Wc	Wc	A	A
10.4.1970	54,5	Bp	C	C	C	C	C	C	C	C	Wcs
19.7.1970	67,1	Wa	Wa	Wa	B	B	B	B	B	Wc	Wc
23.11.1970	47,3	SWc ₂	SWc ₂	Cv	Cv	Cv	NEa	NEa	NEa	NEa	Vfz
17.5.1972	53,2	Vfz	Vfz	Vfz	B	B	B	B	B	B	B
22.8.1972	130,0	Bp	Bp	Bp	Bp	C	C	C	C	C	NWa
2.7.1975	133,8	Wal	Wal	Wal	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEa
26.2.1977	53,1	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	Nc	Nc	Nc
8.5.1977	48,2	Sa	Sa	Sa	Sa	B	B	B	B	B	SWc ₂
3.8.1977	180,2	Bp	SEa	SEa	SEc	SEc	C	C	C	Wa	Wa
23.8.1977	178,4	NEc	Ap ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	Ap ₂	Ap ₂
22.9.1977	49,8	NWc	Nc	Nc	Cv	Cv	Cv	Cv	NEc	NEc	NEa
8.3.1979	60,5	B	B	B	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	Bp	Bp	Bp	Ap ₂
5.7.1980*	109,0	C	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc	Wcs	Wcs	Wcs
1.8.1980*	58,6	NEc	NEc	NEc	NEc	Ec	Ec	Ec	Ec	A	A
23.10.1981*	48,9	Wcs	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	B	B	B	B	Ap ₂
7.1.1982	77,0	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Ap ₂	Wc
10.8.1985*	118,0	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	NEc	NEc	NEc	SWc ₂	SWc ₂
6.6.1986	81,6	B	B	C	C	C	B	B	B	B	B
8.6.1987	71,9	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₃	SWc ₃
31.8.1989*	46,0	Ap ₂	Wc	Wc	Wc	B	B	B	NEc	NEc	B

Pokračování: Příloha I.

Datum kulminace	Kulminační průtok	Typy výskytu povětrnostních situací ve dnech									
		D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2
5.8.1991	75,2	NEa	NEa	Vfz	Vfz	Vfz	Ec	Ec	Ec	SWa	SWa
28.3.1992	55,7	Wc	Wcs	Wcs	C	C	C	C	B	B	Ap ₁
14.5.1996	262,0	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Vfz	Vfz
8.9.1996	64,1	B	Ec	Ec	Ec	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc
7.7.1997	647,0	SWc ₁	SWc ₁	SWc ₁	SWc ₁	B	B	NEc	NEc	NEc	NEc
22.7.1997	98,4	Vfz	Vfz	C	C	C	C	NEc	NEc	NEc	Wcs
22.7.2001	82,9	B	B	B	Bp	Bp	Bp	Bp	Ap ₁	NEc	NEc
18.9.2001	48,1	B	B	Bp	Bp	Bp	Bp	C	C	C	C
18.3.2004	56,9	SEa	SEa	Sa	Sa	Sa	Wa	A	A	Wc	Wc
19.3.2005	100,0	NWc	NWc	SWa	SWa	Wc	Wc	Vfz	Vfz	Ap ₄	Ap ₄
29.3.2006	83,7	SWc ₂	Ap ₃	Ap ₃	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂
2.5.2006	49,1	Vfz	Vfz	Vfz	Bp	Bp	Bp	B	B	SEa	SEa
7.9.2007	267,0	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Wc	B

Zdroj dat: ČHMÚ.

* není k dispozici průběh povodňové vlny

Příloha II Index ID pro dané příčinné povětrnostních situacích v letním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Typ povětrnostní situace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1
Wc	1,2	0,4	0,8	1,2	1,2	0,8	0,4	0,0	0,0
Wcs	2,3	2,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NWc	0,6	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SWc ₁	1,5	1,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0
SWc ₂	1,9	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
SWc ₃	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ec	0,8	0,8	0,8	1,5	2,3	3,8	3,8	6,2	6,2
NEc	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	2,6	4,1
SEc	0,0	1,1	1,1	1,1	0,0	1,1	1,1	0,0	0,0
Nc	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	1,3	1,3	1,3	0,0
C	2,3	1,5	1,5	0,8	3,1	3,1	3,9	3,9	3,9
Cv	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2,3	2,3	2,3
Vfz	3,3	4,5	4,5	4,5	5,6	2,2	1,1	0,0	0,0
B	0,7	2,0	2,3	2,0	1,3	1,6	3,0	3,6	3,6
Bp	0,5	0,9	0,9	0,5	0,9	2,7	2,3	1,4	0,5
Wa	0,0	0,0	0,9	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Wal	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Nwa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SWa	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ea	0,9	0,9	1,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NEa	0,0	0,0	0,7	1,5	0,7	0,7	0,7	0,0	0,0
SEa	0,0	0,0	0,0	2,3	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0

Pokračování: Příloha II.

Typ povětrnostní situace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1
Sa	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0
A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ap ₁	0,0	1,8	0,0	1,8	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Ap ₂	2,7	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ap ₃	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ap ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Zdroj dat: ČHMÚ.

Příloha III Index ID pro dané příčinné povětrnostních situacích v zimním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007.

Typ povětrnostní situace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1
Wc	1,2	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	1,2	1,8	1,8
Wcs	1,6	1,6	1,6	3,2	4,8	3,2	3,2	3,2	3,2
NWc	0,0	1,1	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SWc ₁	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	3,2	3,2	3,2	0,0
SWc ₂	0,0	2,8	2,8	1,4	1,4	2,8	2,8	2,8	1,4
SWc ₃	0,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Ec	2,7	2,7	1,3	1,3	1,3	1,3	0,0	0,0	0,0
NEc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SEc	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C	0,0	0,0	0,0	2,4	2,4	4,7	7,1	7,1	7,1
Cv	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vfz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
B	2,4	2,4	2,4	2,4	1,6	0,8	0,0	0,8	0,8
Bp	1,2	1,2	1,2	0,0	0,0	1,2	1,2	0,0	2,4
Wa	0,0	0,0	2,6	2,6	2,6	2,6	0,0	2,6	0,0
Wal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nwa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SWa	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	2,4	2,4	0,0	0,0
Ea	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NEa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SEa	0,0	0,0	2,4	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sa	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	3,6	3,6	0,0	0,0
A	2,5	2,5	1,2	1,2	1,2	1,2	0,0	0,0	1,2
Ap ₁	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ap ₂	5,1	2,5	2,5	2,5	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0
Ap ₃	4,7	0,0	0,0	4,7	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Ap ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Zdroj dat: ČHMÚ.

Příloha IV Průměrné denní úhrn srážek při daných příčinných povětrnostních situacích v letním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007, (N - bez výskytu).

Typ povětrnostní situace	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2
Wc	0,8	5,1	1,2	10,7	3,7	N	N	N	3,1	2,2
Wcs	0,5	N	N	N	N	N	N	6,9	3,9	3,6
NWc	3,0	N	N	N	N	N	N	N	N	N
SWc ₁	14,8	2,4	0,1	0,8	N	N	N	N	N	N
SWc ₂	0,2	0,0	5,2	0,9	5,3	2,7	30,2	6,5	0,0	N
SWc ₃	2,3	8,6	5,6	32,6	2,0	34,4	26,0	13,6	3,4	0,3
Ec	16,9	3,2	2,2	5,9	10,2	31,0	28,0	4,7	3,0	0,0
NEc	0,1	1,4	6,0	20,3	4,4	29,5	37,3	15,0	7,1	2,1
SEc	8,6	2,7	N	N	40,5	N	N	N	N	0,0
Nc	3,9	0,6	1,6	1,8	12,3	1,6	37,3	N	N	N
C	3,4	7,0	6,3	11,9	10,9	20,7	26,6	2,0	1,8	N
Cv	N	N	N	29,4	7,5	2,7	24,9	N	N	N
Vfz	6,9	10,9	2,5	9,3	22,6	0,0	0,0	0,0	0,6	N
B	4,4	6,4	12,4	5,3	7,9	25,8	20,3	0,9	4,7	3,7
Bp	0,0	2,1	7,5	8,5	18,9	12,4	16,1	N	N	N
Wa	0,0	0,0	3,0	N	N	N	N	N	0,1	N
Wal	4,8	0,1	0,0	N	N	N	N	N	N	2,4
Nwa	N	N	N	N	N	N	N	N	N	0,1
SWa	N	N	N	N	N	N	N	N	0,0	N
Ea	0,7	0,1	N	N	N	N	N	N	7,5	1,7
NEa	0,0	2,2	0,0	0,0	0,3	N	N	0,0	0,5	N
SEa	N	0,3	0,3	22,7	N	N	N	N	0,3	2,5
Sa	0,1	0,7	0,0	0,0	N	N	N	N	N	0,1
A	N	N	N	N	N	N	N	N	0,0	0,0
Ap ₁	N	0,0	1,1	N	N	N	N	0,0	N	N
Ap ₂	0,0	N	N	N	N	N	N	N	0,0	0,0
Ap ₃	N	0,0	N	N	N	N	N	N	0,0	N
Ap ₄	N	N	N	N	N	N	N	N	0,0	N

Zdroj dat: ČHMÚ.

Příloha V Průměrné denní úhrn srážek při daných příčinných povětrnostních situacích v zimním hydrologickém půlroce na Opavě v Opavě v období 1960-2007, (N - bez výskytu).

Typ povětrnostní situace	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2
Wc	1,9	N	N	N	0,5	5,2	1,2	0,2	0,1	1,5
Wcs	3,6	4,3	3,6	0,4	0,7	1,8	3,4	2,4	0,5	0,0
NWc	1,3	2,6	N	N	N	N	N	N	N	N
SWc ₁	N	N	0,9	0,6	3,5	13,5	N	N	N	4,7
SWc ₂	0,2	0,1	2,6	3,3	1,8	1,0	5,9	5,2	1,7	N

Pokračování: Příloha V

Typ povětrnostní situace	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2
SWc3	0,1	0,0	0,7	5,9	10,0	0,0	14,6	N	N	N
Ec	2,6	4,0	3,7	1,3	N	N	N	N	N	N
NEc	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
SEc	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Nc	N	N	N	N	N	N	N	5,4	1,1	2,3
C	N	2,1	3,7	8,4	5,1	9,7	8,0	1,3	0,8	9,9
Cv	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Vfz	N	N	N	N	N	N	4,7	0,1	N	N
B	1,4	0,9	7,7	17,6	N	11,0	4,6	2,1	1,0	0,0
Bp	14,5	N	N	1,1	0,9	N	12,5	1,7	7,2	N
Wa	0,0	0,0	0,0	0,0	N	0,0	N	N	N	N
Wal	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Nwa	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
SWa	N	N	0,0	0,0	0,0	N	N	N	N	N
Ea	N	N	N	N	N	N	N	N	1,0	0,1
NEa	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
SEa	0,0	0,0	N	N	N	N	N	N	N	N
Sa	N	N	0,0	0,0	0,0	N	N	N	N	N
A	0,0	0,0	0,0	0,0	N	N	0,0	0,0	0,0	0,0
Ap1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	0,0
Ap2	0,0	0,0	N	N	0,0	N	N	N	0,4	1,5
Ap3	N	0,0	0,1	N	N	N	N	N	N	N
Ap4	N	N	N	N	N	N	N	N	0,0	0,0

Zdroj dat: ČHMÚ.

**Příloha VI KATALOG POVODNÍ NA OPAVĚ V OPAVĚ
V LETECH 1960-2007**